

第4章 評価指標による異分野融合研究の 動向

第4章 評価指標による異分野融合研究の動向

1. NSF データ (Global Share of Articles) による研究動向

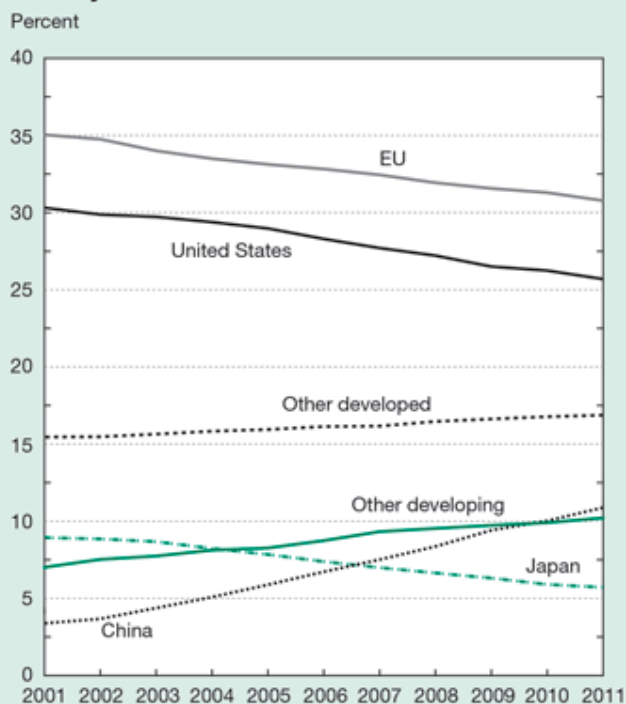
1.1. NSF による科学・工学研究動向の国際比較

数学・数理科学の融合研究についての動向を理解するために、その背景として、数学研究の動向の概要、さらには我が国の科学研究の動向を把握する。ここでは、米国の国立科学財団 (National Science Foundation : NSF) による統計データを利用して分析を行った。NSF は、米国における医学分野以外の科学・工学分野全般にわたる研究と教育を推進している連邦政府機関である。

1.2. 科学・工学分野の論文シェア

国際的な研究動向を見るために、出版学術論文のシェアを概観する。右図は、NSF が分析した2001年から2011年の科学・工学分野の出版論文の国別シェアの推移である。2011年のシェアは米国26%、中国11%、日本6%である。欧州、米国、とともに、我が国のシェアは減少傾向にある（日本は9%から6%へ）。その一方、中国のシェアは大幅に拡大し、また他の開発国の伸び率もかなり高い。

Figure 5-19
S&E articles, by global share of selected region/
country: 2001–11



EU = European Union.

NOTES: Article counts are from the set of journals covered by the Science Citation Index (SCI) and Social Sciences Citation Index (SSCI). Articles are classified by the year of publication, and are assigned to a country/economy on the basis of the institutional address(es) listed in the article. Articles are credited on a fractional-count basis (i.e., for articles with collaborating institutions from multiple countries/economies, each country/economy receives fractional credit on the basis of the proportion of its participating institutions). Counts for all six groups sum to the world total. Data for Bulgaria, Hungary, and Romania are included with the EU and not with developing economies.

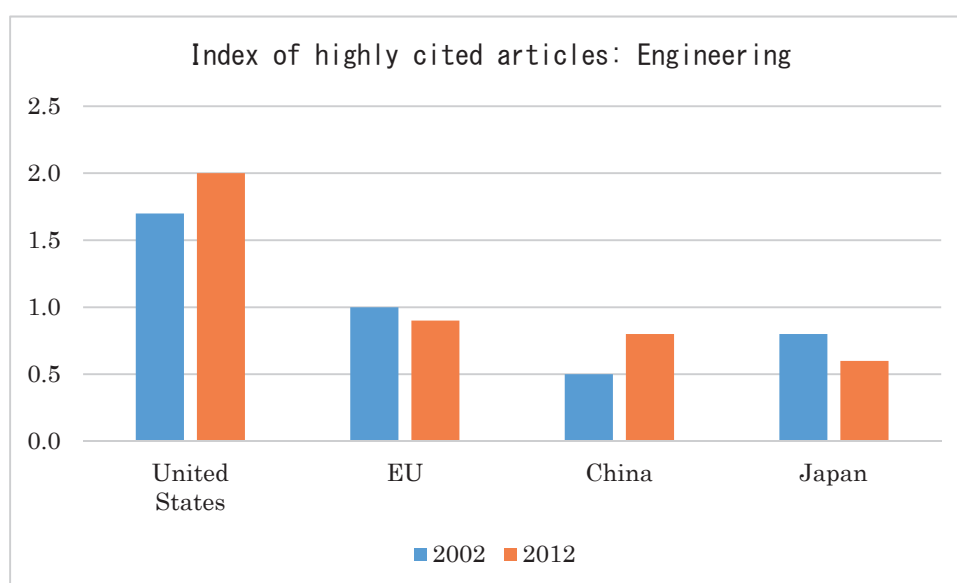
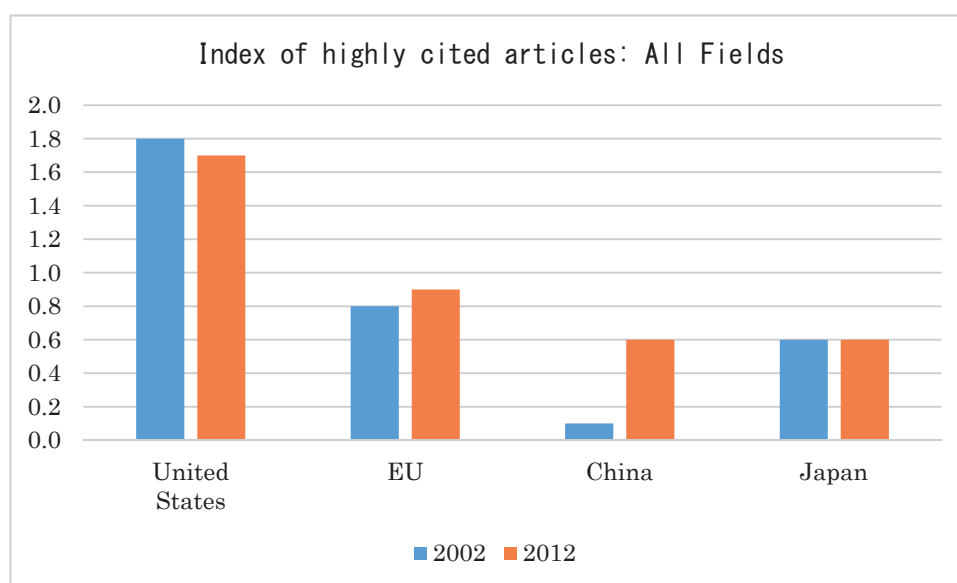
SOURCES: National Science Foundation, National Center for Science and Engineering Statistics, and The Patent Board,™ special tabulations (2013) from Thomson Reuters, SCI and SSCI, http://thomsonreuters.com/products_services/science/. See appendix table 5-26.

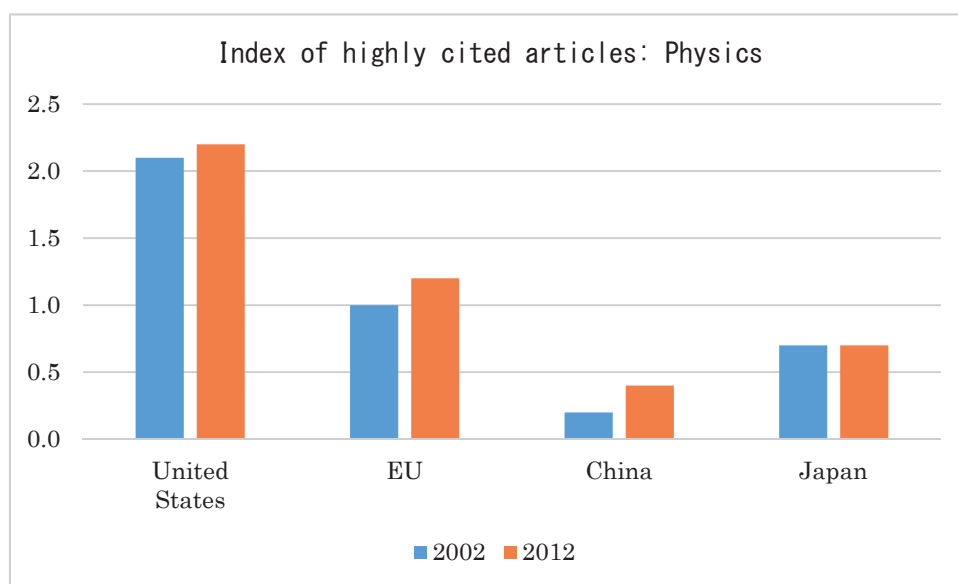
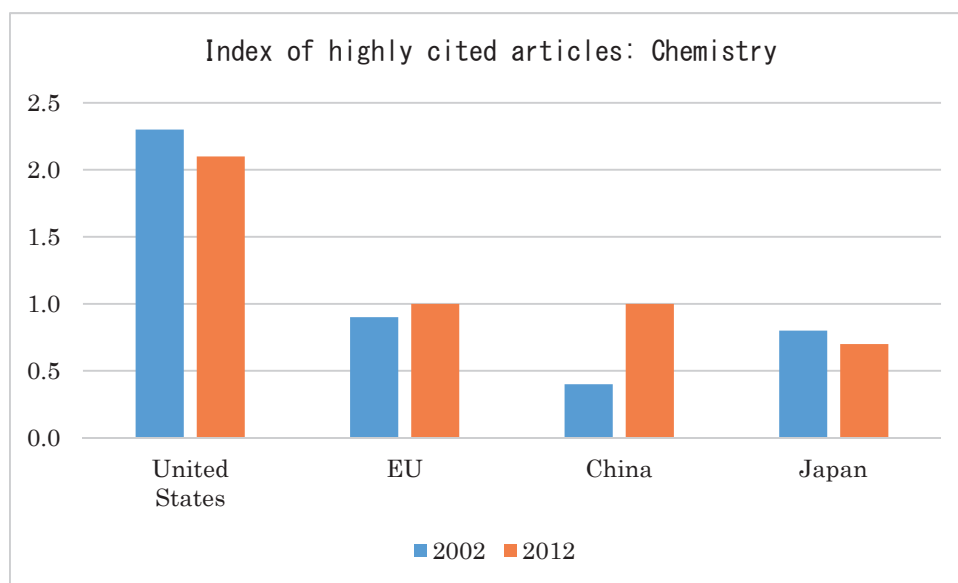
Science and Engineering Indicators 2014

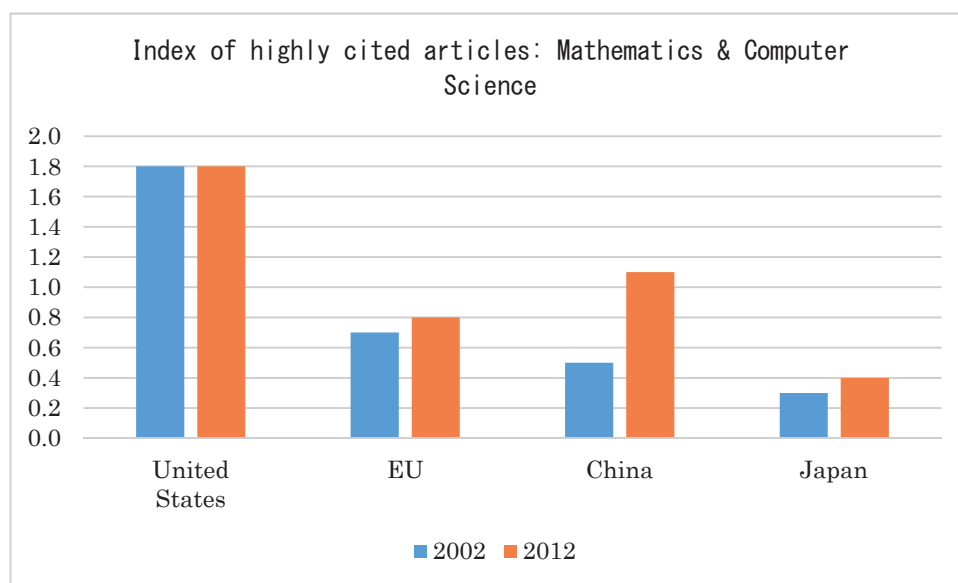
1.3. 各研究分野の高引用論文指標の変化

NSF では、トムソン・ロイター社のデータを基にして、世界引用数トップ1% 論文をその期間 [cited year window] の国別シェアで割ったものによる国別の論文シェア「高被引用論文指標 (The index of highly cited articles)」による調査を行っている。
(<http://www.nsf.gov/statistics/seind14/index.cfm/chapter-5/c5s4.htm> を参照)。
ただし、この高引用論文指標の算出は「国補正」とよばれており、開発国に有利であるという批判があることには注意が必要である。

以下に、米国、欧州、中国、日本別の全分野、工学、化学、物理、数学および計算機科学における、高引用論文指標の2002年と2012年の変化を示す。



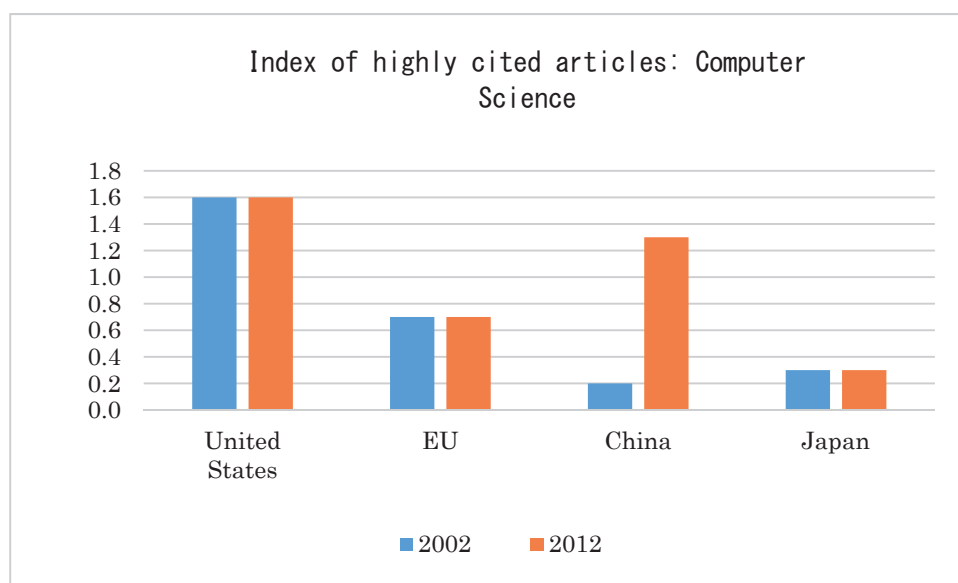


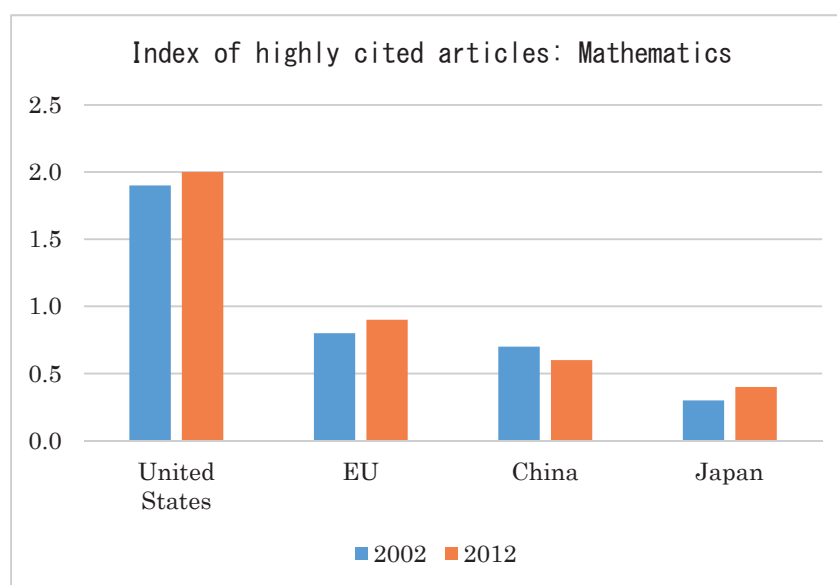


日本は、全分野および物理では横ばい、工学および化学では減少、数学および計算機科学では微増である。一方、中国の伸びは、分野全体では急激であり、数学および計算機科学と化学でも伸びている。物理も微増である。

1.4. 数学と計算機科学について

この NSF の高引用論文指標の変化を数学と計算機科学についてさらに詳しく示す。





日本の計算機科学は、ほとんど変化が見られないが、数学は上昇している。一方、中国の計算機科学は大きな伸びがみられるが、数学はやや減少している。なお、科学技術・学術政策研究所 (NISTEP) の報告書では、わが国の計算機科学・数学分野のトップ1% 補正論文数の世界ランクは2001-2003年の8位から2011-2013年の20位へと大幅に下がっている。この NISTEP の報告と本データからの帰結との食い違いは、用いた指標の違い、およびシェアの割合の変化が国別ランクの変化に必ずしも直結しないことによると思量される。

2. MathSciNet によるキーワード検索での融合研究動向

2.1. 異分野のキーワードを含む論文数の年次変化

米国数学会 (American Mathematical Society) は、世界の数理科学 (数学および数学を応用した学問分野) の論文 (雑誌論文、書籍、会議録等) のレビューを1940年に創刊した定期刊行物「Mathematical Reviews (MR)」で提供している。MRには論文のレビューの他、定期刊行物「Current Mathematical Publications: CMP」から書誌、抄録が収録されるとともに数学主題分類である MSC (Mathematical Subject Classification: MSC) が各論文情報に付与されている。「MathSciNet (<http://www.ams.org/mathscinet/>)」は MR をベースに、電子ジャーナル論文へのダイレクトリンク、参考文献リストの追加、引用情報の追加などのオンライン・データベースであり、インターネットを通じてサービスされている。

この項では2000年から2014年までに MathSciNet にとりあげられた、いくつかの異

分野キーワードを持つ論文の数の推移をグラフにまとめたものを示す。

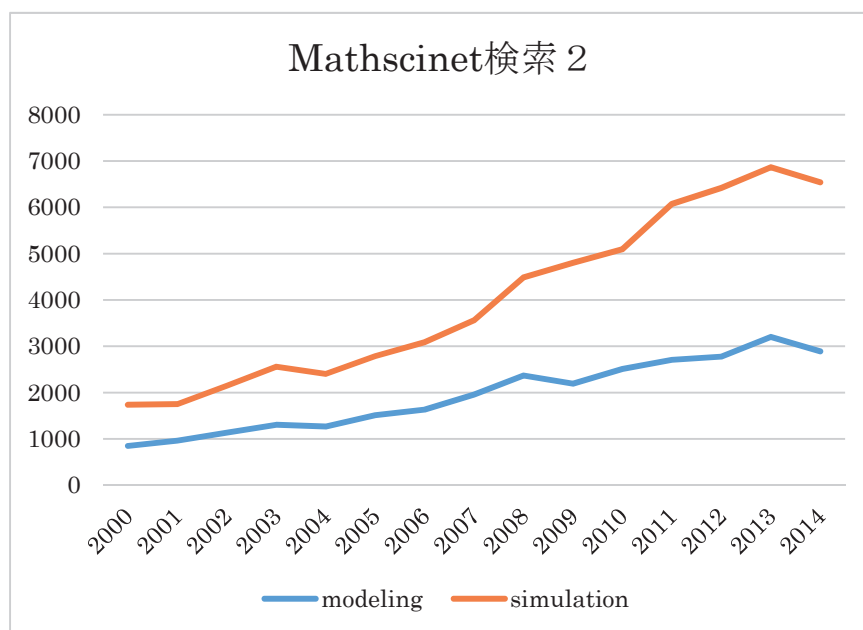
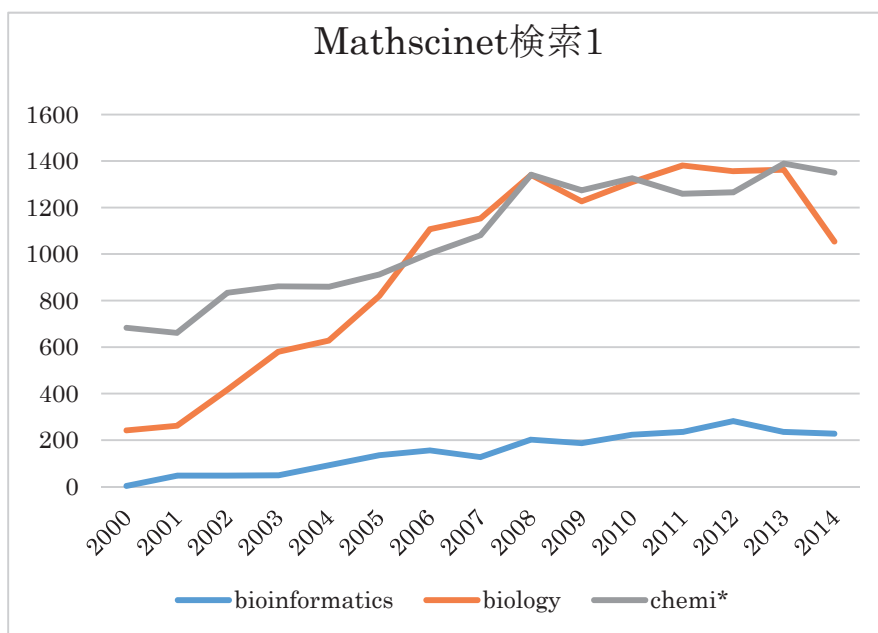
それぞれ、以下のキーワードで検索した。

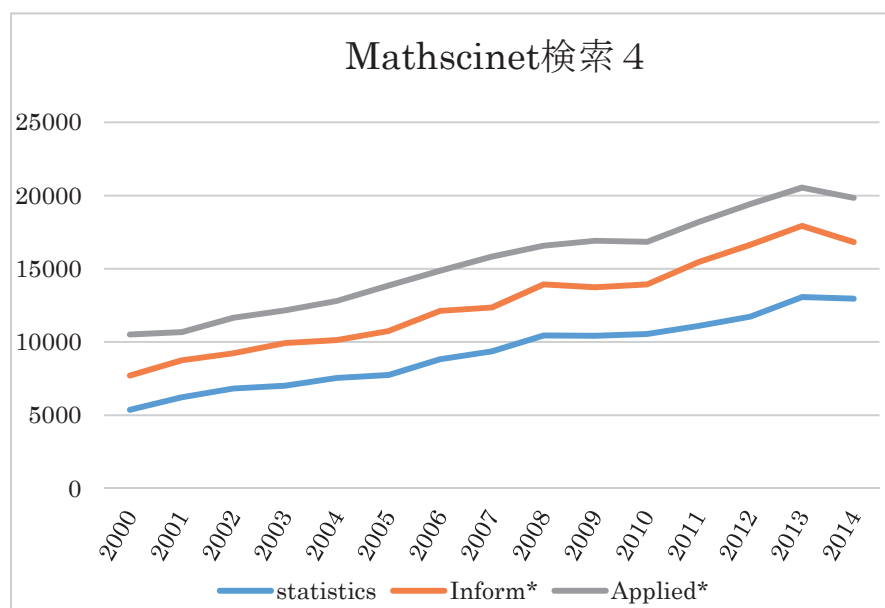
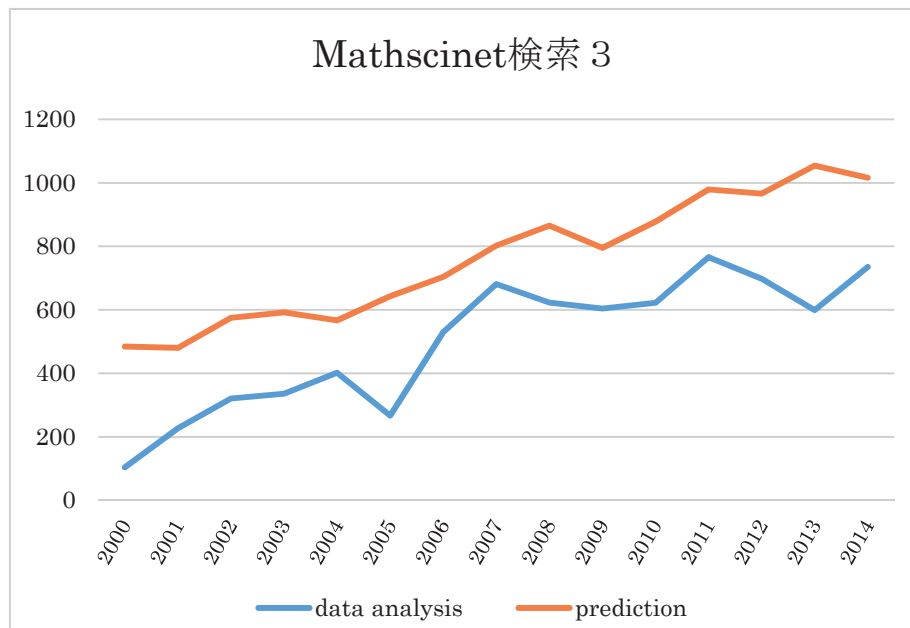
検索1 bioinformatics、biology、chemi-

検索2 modeling、simulation

検索3 data analysis、prediction

検索4 statistics、Inform-、Applied-

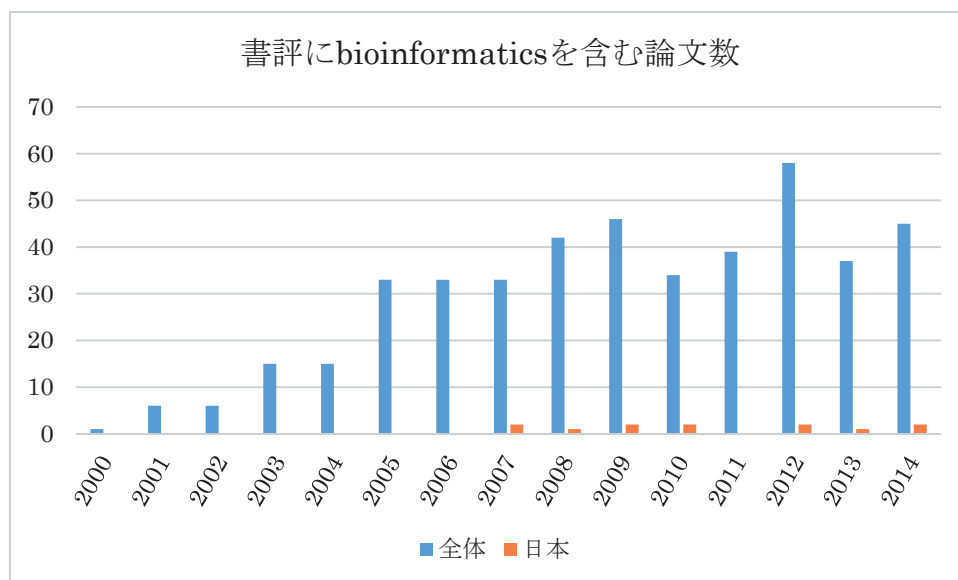
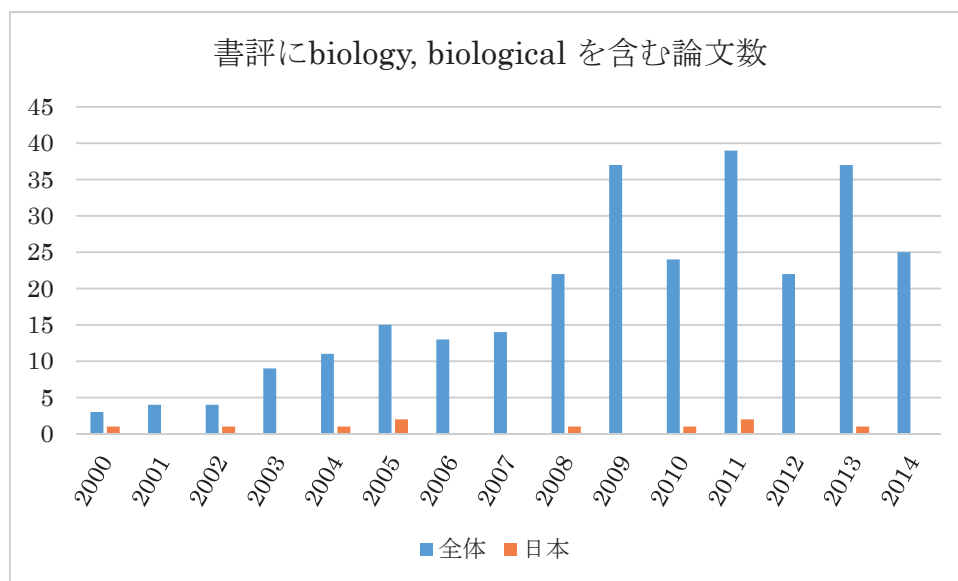




bioinformatics、biology、chemi-、modeling、simulation、data analysis、prediction、statistics、Inform-、Applied- の10種類について調べているが、いずれも単調に増加している。これは、世界的に見て、異分野との融合が年々進んできている傾向が、数学分野の論文にも現れていると考えられる。

2.2. 書評に現れるキーワードによる論文数の年次変化

MathSciNet には国別の分類を行う機能はないため、MathSciNet 上の検索結果からわが国における動向を直接把握することは困難である。そこで、書評に他の分野との関連を示すものとして、biology または biological、および bioinformatics のキーワードを含む論文を検索し、その著者が日本人である（共著を含む）論文数の年次変化を調べた。



このほかにも、material science などのキーワードを含む論文数を調べても、日本人が著者として加わっている論文数はごくわずかであり、日本人の研究者が数学分野の雑誌に融合分野の研究報告をすることは少ないという傾向が見てとれる。ただし、

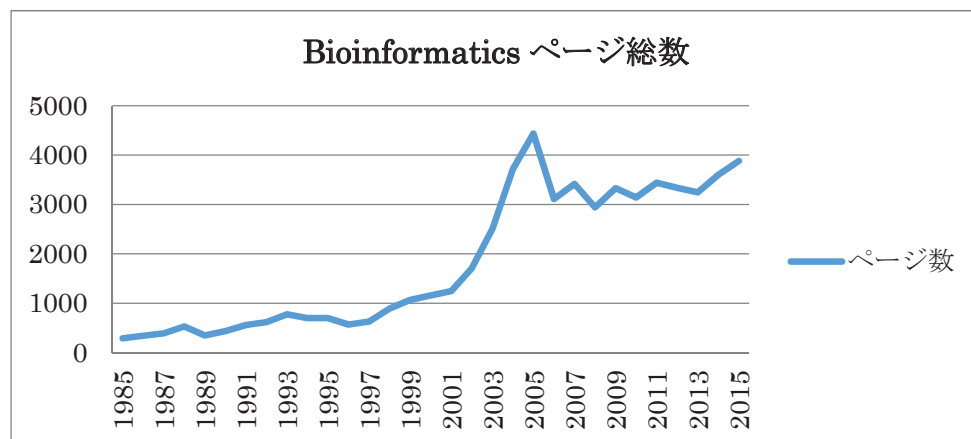
MathSciNet のデータベースには採録されていない雑誌が少なくない点については検討が必要であろう。

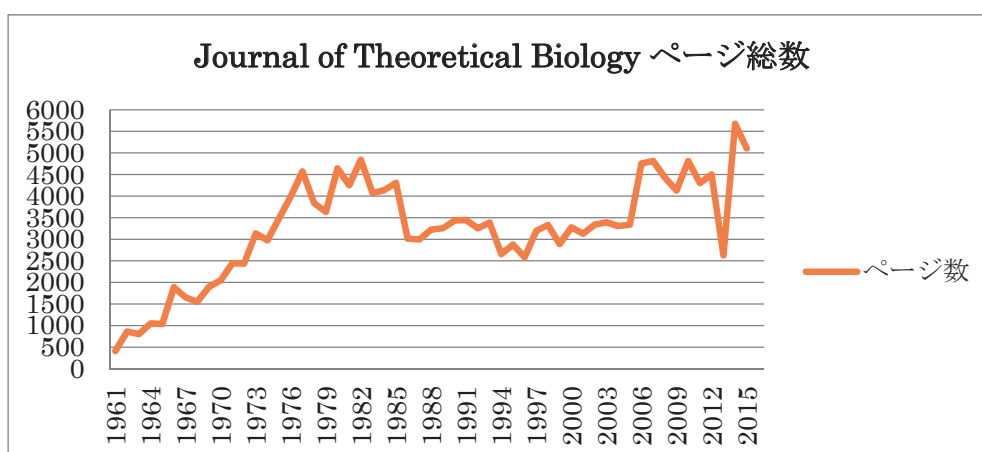
(MathSciNet の採録雑誌一覧は、以下を参照。http://www.ams.org/mathscinet/help/msnlinking_by_journal.html)

3. 融合研究学術雑誌を使った数学・数理科学融合研究の動向

3.1. 雑誌 Journal of Theoretical Biology および Bioinformatics におけるページ数の年次変化

Journal of Theoretical Biology は1961年に Elsevier から創刊された生物学的な過程全般を理論的に取り扱う論文を掲載する雑誌である。一方、Bioinformatics は1985年に Oxford University Press から創刊された遺伝子生物学、生命情報科学、計算機生物学を対象とした雑誌である。この二つの雑誌の総ページ数の年次変化をグラフにしたものが次の表である。





Bioinformatics では、初年度には200ページ未満だったのが2015年には3600ページほどになっており、年度ごとに増加している。2003-4年に急にページ数が増えたのはヒトゲノム解析が完了したからである。一方、Journal of Theoretical Biology は1980年前後にピークがあり、その後やや停滞し最近また増加の傾向になる。いったん停滞したのは、他の数理生物系の雑誌が刊行されてきたためと考えられる。この結果から、生物学分野では数学との融合研究が年々増加していると考えることができる。

3.2. Nature 誌の学際研究特集号

Nature 525 (17 September 2015) は学際研究 (interdisciplinary research) の特集号であり、世界的にも学際的研究の重要性について関心が集まっており、学際的な研究を呪わしいものではなく、喜ばしいものにするために、行政府や研究費提供組織、学術雑誌、大学、研究機関、研究者はそれぞれ何をすべきかを検討している。この特集における論文では、数値的に、学際的研究の重要度や分野による学際的研究の割合などを論じている。特に、論文: Interdisciplinary research by the numbers (数字で見る学際研究) An analysis reveals the extent and impact of research that bridges disciplines、Richard Van Noorden 著、Nature 525、306-307 (17 September 2015) doi:10.1038/525306a では、学際研究について数値的なデータをあげ、学際研究の動向を示している。以下では、この論文のデータに基づき、近年の学際的研究の動向などを報告する。なお、この号では、How to solve the world's biggest problems、Heidi Ledford 著、p.308-311 (学際的研究チーム構成の難しさや利点やについて)、また、editorials として、Too close for comfort? p.289 (産業界と研究者との関係をどう捉えるかは難しいが、大学や研究機関は「利益相反」を精査するためにまだまだ取り組むべきことがある。)、Mind meld p.289 (学際的な科学研究を成功させるには、時間はかかるが、分野間の隔たりをなくして共通の地盤を作っていく必要がある。) ことなどが論じられている。

(1) 同種分野および異分野間の論文引用の推移

1950年から2010年までの、web of science に掲載された約35万編の論文を対象に、14の主な学問分野（たとえば、物理学、生物学など）と143の専門分野について、お互いの間でどのように論文が引用されているかを調べたところ、自然科学および工学では、同じ専門分野間での論文引用は1980年代半ばまではほぼ横ばいだが、その後減少傾向にある。また、異なる専門分野間の論文引用は1960年代半ばまでは増加し、その後横ばい、あるいはやや減少傾向にある。一方、異なる学問分野間では、1960年まで減少したもののその後横ばいとなり、1980年ごろからだんだん増加している。人文・社会科学分野も似たような傾向を示している。1980年代以降を見ると、同じ専門分野内での論文引用は年を追うごとに減少し、異なる専門分野間ではほぼ横ばいであり、異なる学問分野間では増加している。

(2) 学際的 (interdisciplinary) という言葉の使われ方

学際的研究についての講演は年々増加傾向にある。「interdisciplinary」という言葉がタイトルについた論文の数は、人文・社会科学分野では、揺らぎながらも年々増加している。また自然科学および工学分野でも、年を追うごとに増加している。特に21世紀にはいつてから、その増加は顕著である。

(3) 学際的研究が認められるには時間がかかる

出版後3年間および13年間における論文の引用数を、二つの学際性の指標を用いて、学際性の大きさによって、どのように変わるかを調べたもの。一つの指標は、引用される分野の広さであり、もうひとつ引用される分野の知的な距離 (intellectual distance) である。どちらの指標についても、3年後では、学際性が高いほど、引用は少ないが、13年後では、学際性が高いほど引用が多くなっている。特に知的な距離で見た場合、その傾向が著しいことがわかる。

(4) 2014年の分野別学際研究指標

次の表は、分野別に見た学際性の高さを示している。各分野の論文において、reference（他分野の論文を引用した割合）、citation（他分野の論文に引用された割合）を示す。％が高いほど、より学際的と考えられる。生物学関連分野は一般に学際性が高く、素粒子・原子核理論および手術分野は学際性は高くはない。

	General Biology	Miscellaneous Biology	General Biomedical research	Science studies	Biomedical Engineering	Physiology	Applied Chemistry	Environmental Science	Chemical physics
reference	74%	69%	61%	70%	55%	53%	68%	54%	54%
citation	71%	68%	59%	51%	60%	50%	45%	41%	52%

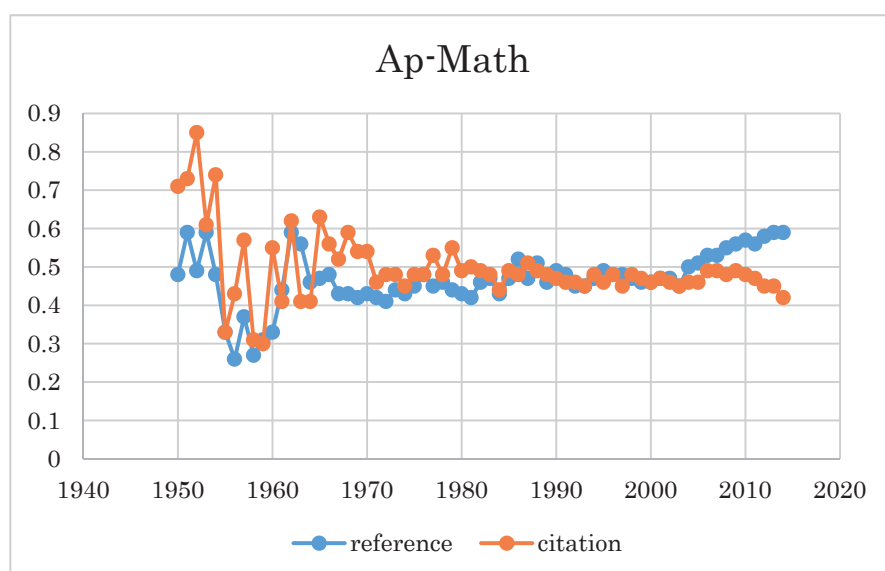
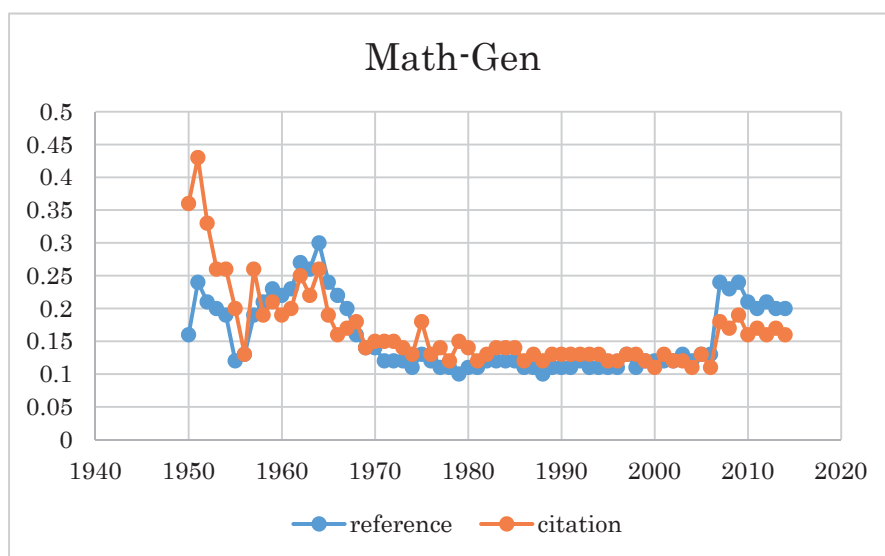
	Biophysics	Applied Mathematics	Agriculture & Food science	Pharmacy	Applied Physics	Economics	Probability & Statistics	Applied Physics	Biochemistry & molecular biology
reference	46%	59%	43%	44%	41%	33%	34%	41%	39%
citation	52%	42%	40%	49%	31%	35%	40%	38%	43%

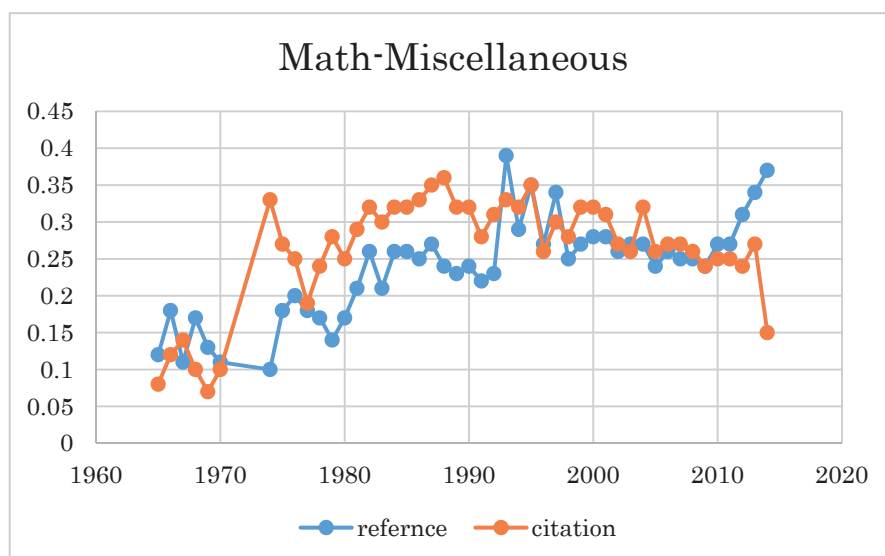
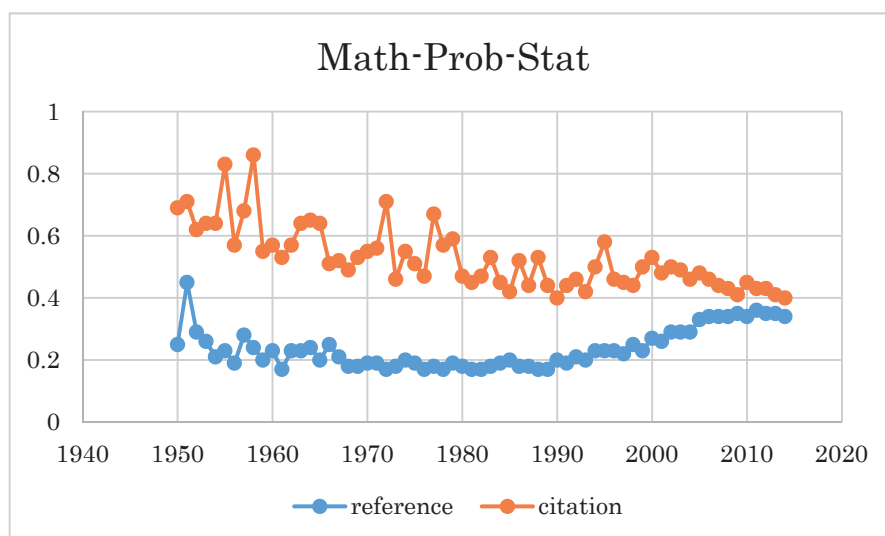
	Solid State Physics	Optics	General Zoology	General Chemistry	General Physics	Miscellaneous Mathematics	General Mathematics	Nuclear & Particle Physics	Surgery
reference	34%	37%	48%	40%	28%	37%	20%	10%	9%
citation	35%	27%	29%	25%	21%	15%	16%	11%	11%

数学は4分野に分けられ、表では文字を黄色く表した箇所に示されている。応用数学 (Applied Mathematics) や確率・統計分野 (Probability & Statistics) はある程度学際性が高いが、純粋数学 (General Mathematics) は低い。

3.3. 数学分野の学際性の年次変化

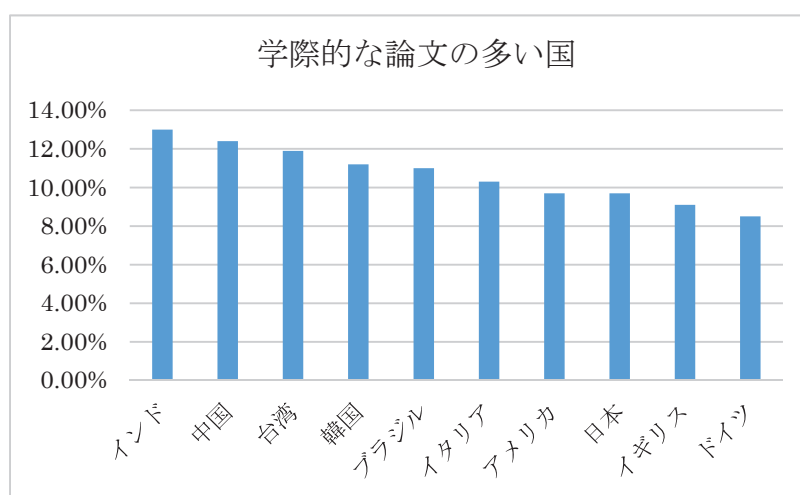
一般数学 (Math-Gen)、応用数学 (Ap-Math)、確率・統計 (Math-Prob-Stat)、それ以外の数学関連分野 (Math-Miscellaneous) の学際性の年次変化を、reference と citation を指標に表したものが次の4つの図である。





3.4. 国別に見た学際的論文の割合

国別に学際的な論文の割合を見ると、次のようなグラフが得られる。インドや中国など新興国では学際性の高い論文が多いことがわかる。

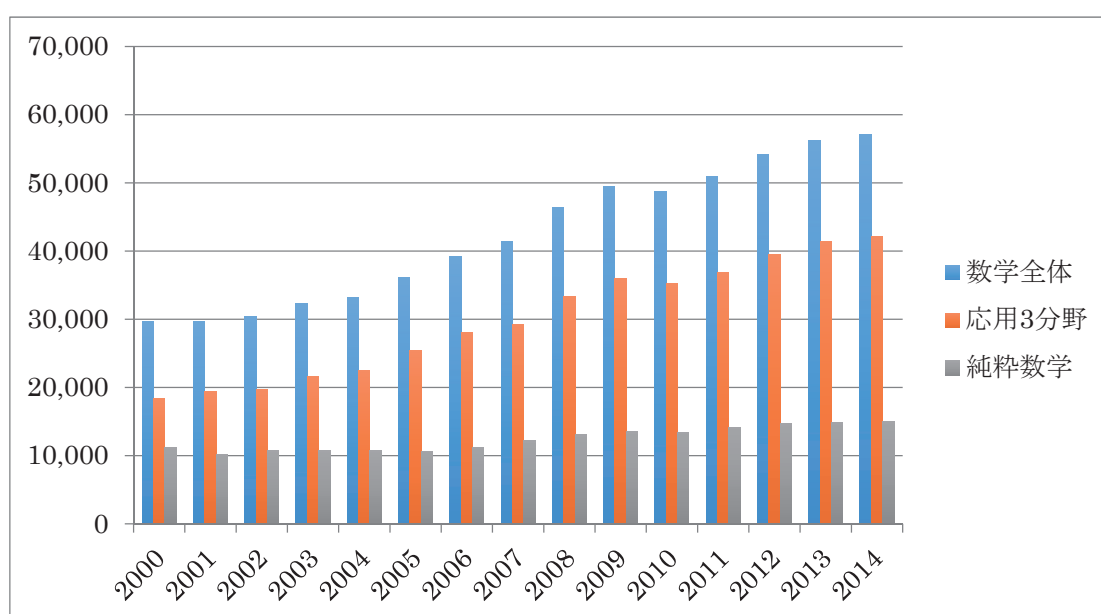


4. 数学・数理科学と他分野との融合研究動向

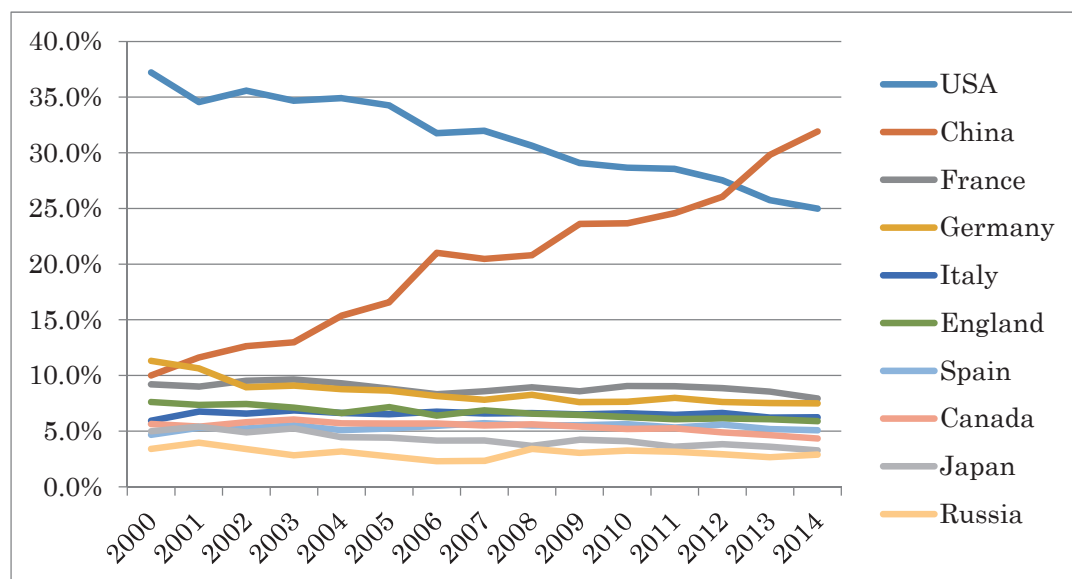
4.1. 学術文献データベースによる分野別論文数の年次変化

現在、様々な企業、団体がオンライン学術文献データベースを提供している。これらのデータベースを利用して、国内外の膨大な論文、雑誌等の学術情報を検索し、先行研究を調べることが容易となった。主要な学術文献データベースの一つにトムソン・ロイター社が提供する Web of Science (WoS) がある。以下に、2000年から2014年の、WoS 数学分野全体の論文数、上位10カ国の応用数学分野の論文数、応用数学分野のシェアの推移を示す。

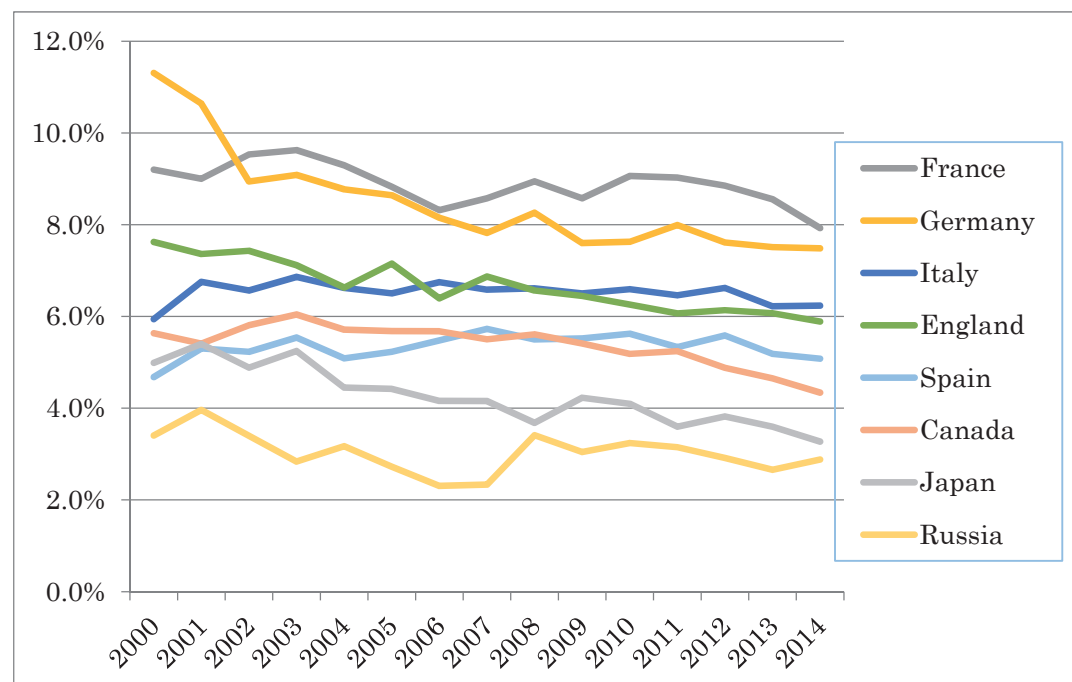
世界の数学論文数の推移



上位10カ国の応用数学論文数推移



上位3～10位の国の応用数学論文シェア推移



それぞれ以下の条件で検索した。

数学全体 = 主要22分野で mathematics に分類されているもの

応用3分野 = 上記のうち Mathematics, Applied OR Mathematics, Interdisciplinary Applications OR Statistics & Probability に分類されているもの

純粋数学 = mathematics のうち応用3分野を除外したもの

今回の検索結果では、応用数学の論文数は中国が急増しており、日本は2014年の時

点では応用論文のシェアはカナダについて9位となっている。

4.2. 学術文献データベースによる国別融合研究の動向調査

(1) 共著論文リストの集計による研究者の学術分野

数学・数理科学の学術的成果は、他分野論文からの引用（インパクト）という形では捉えにくい。一方、数学・数理科学の研究者と他分野の研究者との学際的研究活動の成果は論文の共著として現れてくるはずである。そこで学術論文の共著に注目し、国際比較、年次変化を調べた。

(2) 書誌データにおける共著リストを用いた研究者の専門領域の特定

1-1 WoS の著者において、組織 O_i に所属する者（著者 A_{ij} ）を特定する

2-1 著者 A_{ij} が関連する（単著、共著）の論文 P_{ijk} を特定する。

2-2 論文 P_{ijk} のカテゴリ（小分類 WID_{ijk} ）から大分類 EID_{ijk} を特定する

3-1 論文 P_{ijk} を大分類 EID_{ijk} にて分類して集計する。

3-2 最も多い大分類が、その著者の専門分野 $MMIC_{ij}$ となる。これが Category 情報である。

3-3 Category ($MMIC_{ij}$) の論文数とその他の論文数の比を求める ($MMIR_{ij}$)。これが Ratio 情報である。

3-4 結果をまとめると

Category ($MMIC_{ij}$) : 著者の専門分野

Ratio ($MMIR_{ij}$) : 著者の専門分野への集中度

組織 O_i の所属研究者の場合

所属研究者の専門分野の分布 : $\sum MMIC_{ij}$

所属研究者の専門分野への集中度の分布 : $\sum MMIR_{ij}$

所属研究者の専門分野 m への集中度 : $(\sum MMIR_{ij} (MMIC_{ij}=m)) / (\sum MMIC_{ij} (MMIC_{ij}=m))$

なお、以下では、研究者の専門分野へ集中度の比率集積の逆を異分野融合度とした。

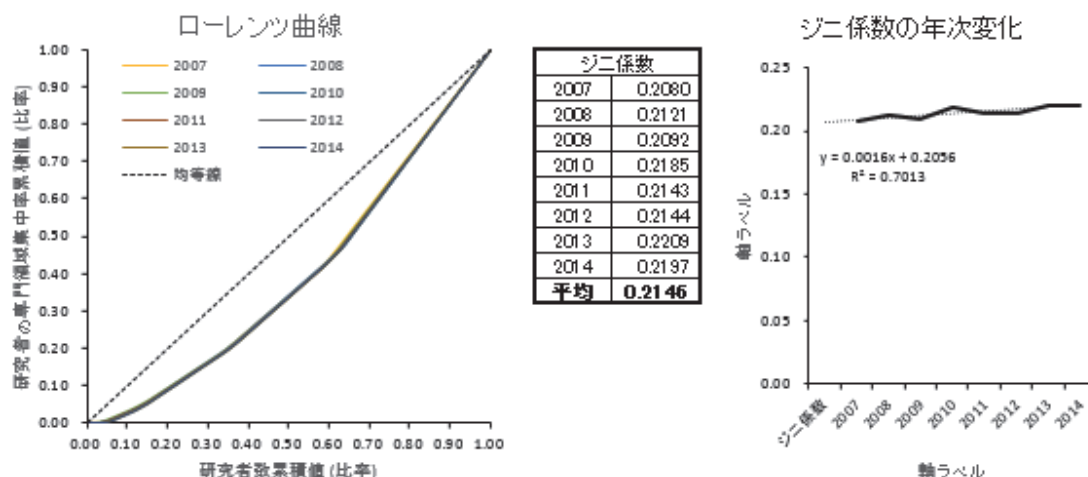
(3) ジニ係数による地域別融合研究の年次変化

各研究者の異分野融合度を主要15ヶ国の国別にて、その時系列変化を分析した。以下に分析手順と結果の詳細を示す。

分析手順：分析は2段階で行った。まず、各研究者の異分野融合度の年次変化を国別分布にローレンツ曲線で示した。次に、その特徴をジニ係数を用いて定量化して比較検討を行った。下図は、Japan の MATHEMATICS 分野における研究者の異分野融合度を

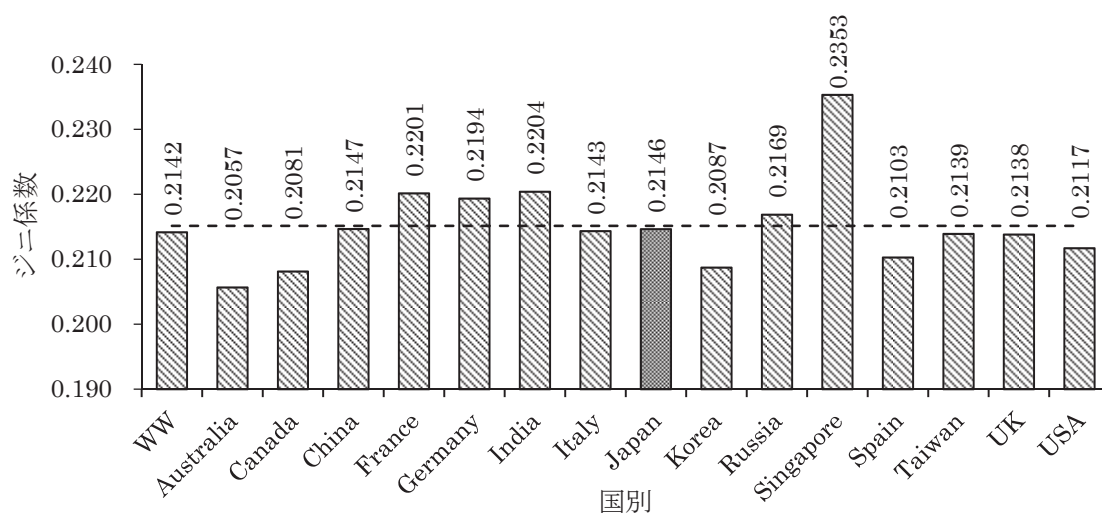
示したものである。左図は、異分野融合度の分布をローレンツ曲線にて示したものである。そして、右図と表は、その結果をジニ係数で示したものである。2007年から2014年におけるジニ係数の平均は0.2146であった。そして、その年次変化を回帰分析すると、傾きが0.0016で切片が0.2056であり、決定係数R²は0.7013と高い相関があることを示している。

Japan の異分野融合度とその年次変化 MATHEMATICS (2007-2014)



分析結果① - 異分野融合度の順位：下図に主要15か国の MATHEMATICS 分野における異分野融合度を示す。なお、この値は2007年から2014年までの平均値である。Japan はジニ係数が0.2146であった。

異分野融合度の国別比較 MATHEMATICS (2007-2014の平均)



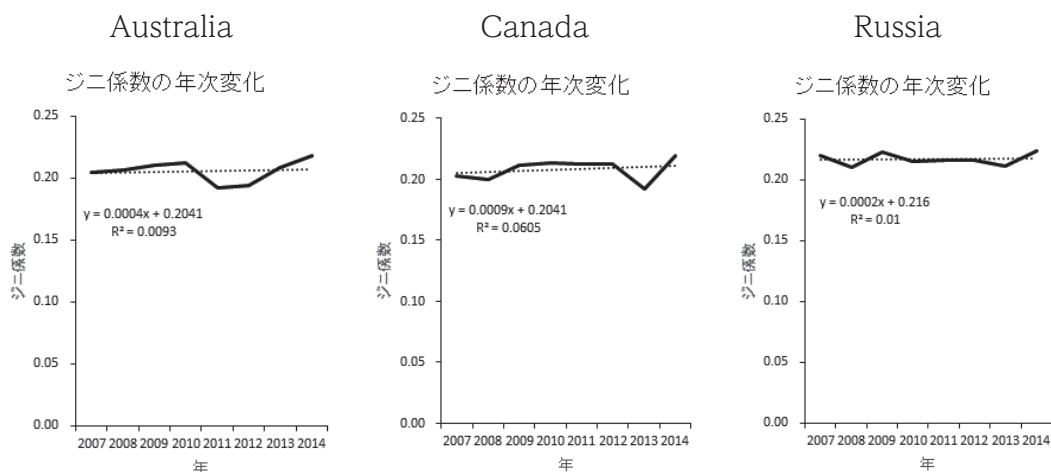
分析結果② - 異分野融合度の伸び率：下記の表に主要15か国の MATHEMATICS 分野における異分野融合度の伸び率を示す。なお、この分析では、2007年から2014年までの平均値を用いる。Japanはジニ係数の伸び率(傾き)が0.0016であった。特筆すべき点として、Singaporeの伸び率(傾き)が-0.0110で減少傾向を示している点が挙げられる。

異分野融合度の年次変化 - 国別比較 MATHEMATICS (2007-2014)

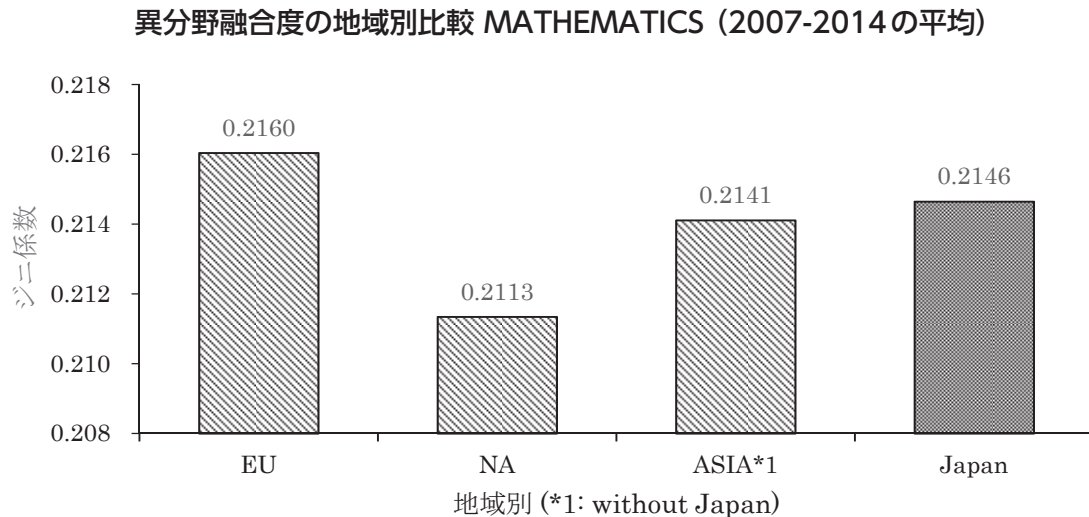
国別	地域			OLS#1	国別	地域			OLS#1
	EU	NA	Asia			EU	NA	Asia	
Australia	0	0	1		Korea	0	0	1	0.0017 ** 0.2009
Canada	0	1	0		Russia	0	0	1	
China	0	0	1	0.0020 ** 0.2057	Singapore	0	0	1	-0.0110 ** 0.2848
France	1	0	0	0.0021 ** 0.2107	Spain	1	0	0	0.0006 * 0.2077
Germany	1	0	0	0.0009 ** 0.2153	Taiwan	0	0	1	0.0020 ** 0.2047
India	0	0	1	0.0033 ** 0.2057	UK	1	0	0	0.0019 ** 0.2052
Italy	1	0	0	0.0016 ** 0.2073	USA	0	1	0	0.0018 ** 0.2036
Japan	0	0	1	0.0016 ** 0.2056	WW	0	0	0	0.0012 ** 0.2087

#1: 上側：傾き、下側：切片、** $R^2 \geq 0.25$ ($|R| \geq 0.5$)、* $R^2 \geq 0.09$ ($|R| \geq 0.3$)

上記の表では、Australia、Canada、Russiaにおいて、OLS (Ordinary Least Squares：最小二乗法) の決定係数が有意な結果が得られなかった。下図は、これら3国のジニ係数の年次変化を示したものである。



次に、分析で用いた15ヶ国をEU、NA、Asia、そしてJapanに分類して地域ごとの特徴をみた。下図は、MATHEMATICS分野における異分野融合度の地域別比較のグラフである。EUが最も高く0.2160、次いでAsiaの0.2141、そして、NAの0.2113である。Japanは、Asiaの値に近いことが示されている。



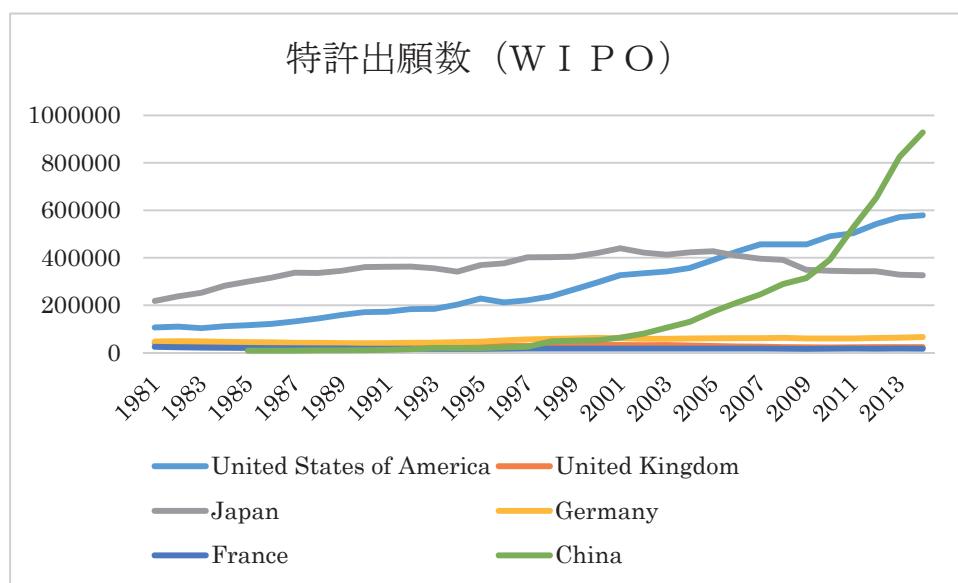
5. 数学関連特許の動向

本節では、科学技術の産業への応用を、特許出願の視点から概観する。

5.1. WIPO および JPlatPat のデータベースを用いたキーワード検索

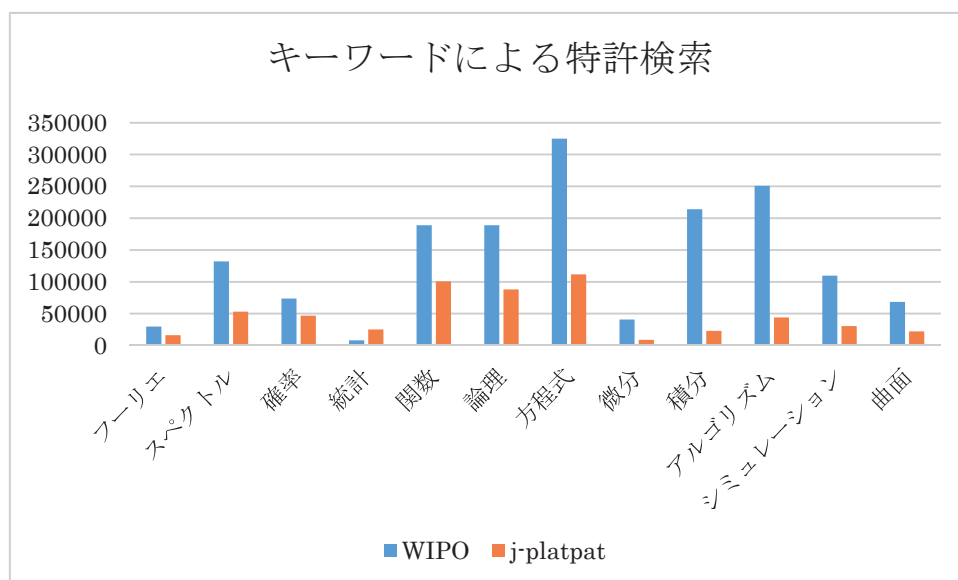
(1) 国別の特許数の年次変化

次のグラフは世界知的所有権機関 (World Intellectual Property Organization、WIPO) のデータベースによる6カ国 (米、英、中、仏、独、日) の特許出願数の年次変化を示している。もっとも急激な伸びを示しているのが中国であり、アメリカも順調に増加している。これに対して日本の出願数は2000年ごろに頭打ちになり、最近では減少傾向にある。



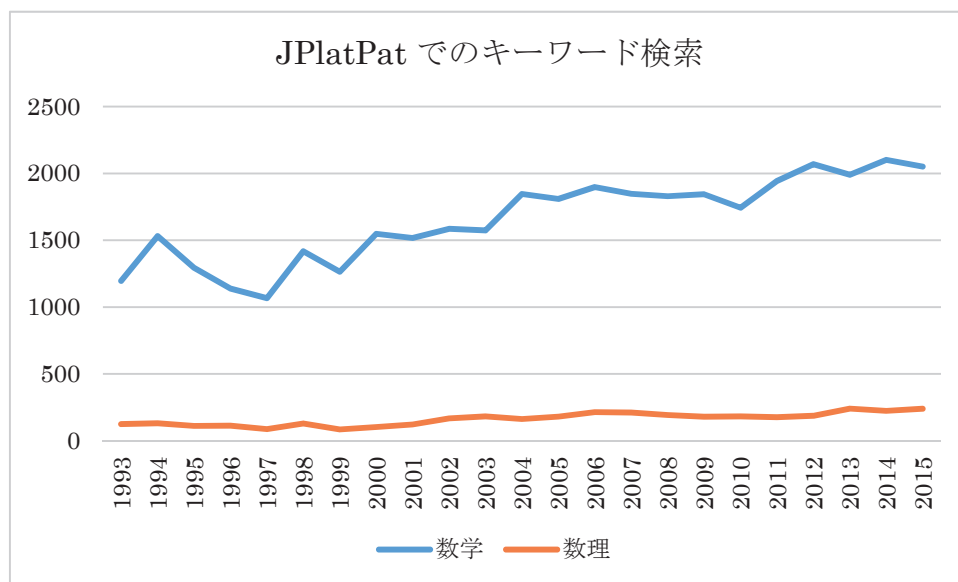
(2) キーワード別出願数

WIPO および特許情報プラットフォーム (Japan Platform for Patent Information、JPlatPat) を用いた簡易検索により、数学関係のキーワードを含む特許・実用新案中の数を調べたものが次のグラフである。



5.2. キーワードを含む特許の年次変化

JPlatPat を用い、特許・実用新案の公開特許公報に含まれる数学および数理をキーワードとするものの数の年次変化を示したものが次のグラフである。どちらのキーワードを含むものも振動しつつも年々増加する傾向にあることがわかる。



今回、学術雑誌の学際研究特集号の調査結果などから、これまでも数学・数理科学と融合研究が進んでいると思われていた生物学・物理学だけでなく、人文・社会学との融合研究も増加傾向であることがわかった。

これは応用数学と人文・社会学との分野横断的共同研究について今後も注目する必要があることを示唆している。

異分野融合研究の動向を把握することが困難である主な理由として研究成果のインパクト（引用数）のような客観的な指標、基準が完全には確立されてないことがある。さらには数学・数理科学の研究成果に対する評価、波及効果は短期的には現れにくいことも他分野との関連を計量的に調べることを難しくしている。今回の調査でも既存の（数学を含む）学際的分野の動向調査のみでは全体像を把握することは非常に困難であることがわかった。今後は異分野融合研究の動向を客観的に測るための新たな指標の研究が望まれる。

第5章 数学・数理科学融合研究のための 数学人材の育成

第5章 数学・数理科学融合研究のための数学人材の育成

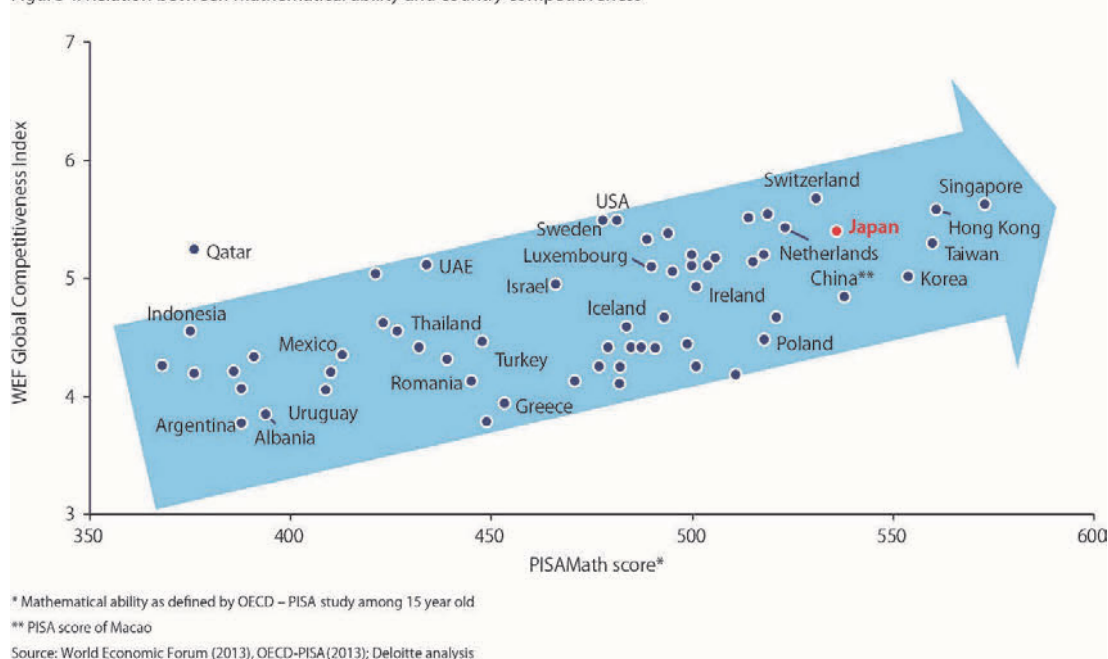
1. 理系人材の育成

本章では、数学人材の育成について、数学・数理科学の活用による融合研究の促進という立場から、我が国と米国との人材育成の比較を重点にして調査を行った。本章では、(1) 若年層への数学教育、(2) 数学・数理科学および工学での大学学部教育、(3) 数学・数理科学系の大学院博士課程修了学生のキャリアパスについての調査結果である。

1.1. 理系人材の現状

21 世紀社会においては、社会経済の科学技術に対する依存度が一層高まることから、理系人材の育成が世界において強く求められている。オランダ Deloitte のレポート、[Mathematical sciences and their value for the Dutch economy] (<http://www.euro-math-soc.eu/system/files/uploads/DeloitteNL.pdf>) のなかで、2013年に行われた OECD の PISA Study による数学能力調査と World Economic Forum によって定義された Global Competitiveness Index の関係についての調査がある (図表(1))。それによると、一般的に、「競争力のある国家は数学能力が高い」ということが示されている。オランダは、World Economic Forum list では8番目にランクされており、高

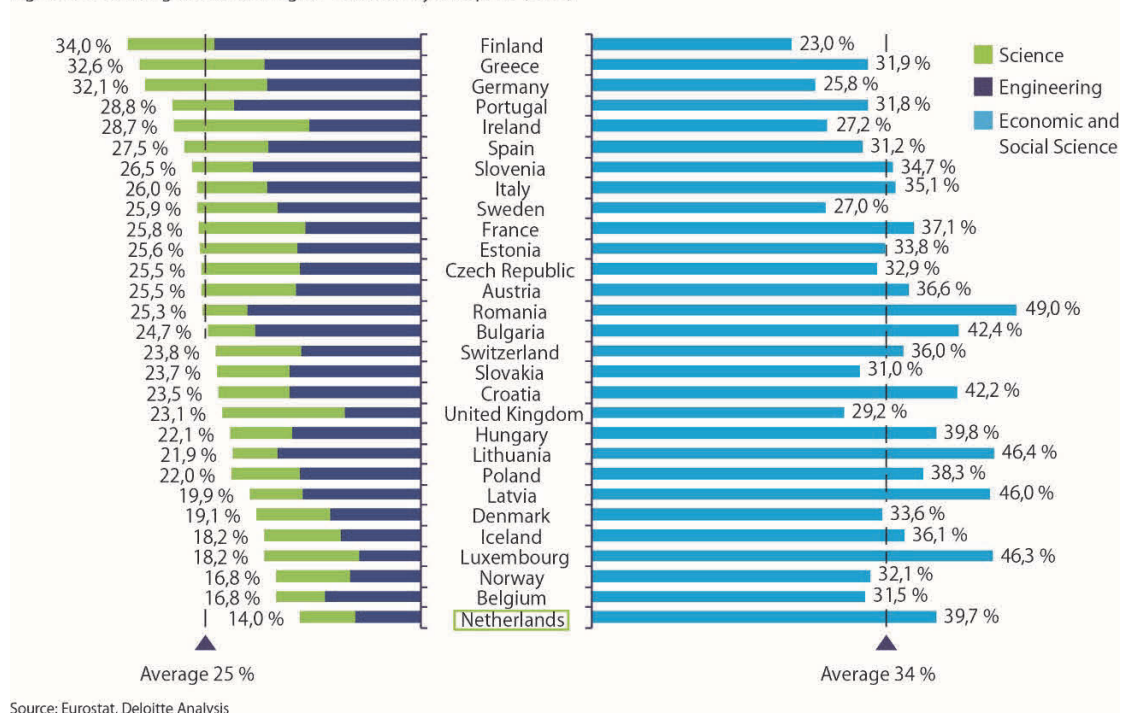
Figure 4. Relation between mathematical ability and country competitiveness



図表1 数学能力と国家の競争力の関係

校生の数学能力評価でも8番目のランクである。この表を使うと、日本は World Economic Forum list の9-10位にランクされており、高校生の数学能力評価では5-6位あたりのランクである。日本の国家の競争力の強さを保持するためにも、日本の若年層の数学能力の維持が重要であると言える。

Figure 6. Share of graduates in higher education by discipline (2011)



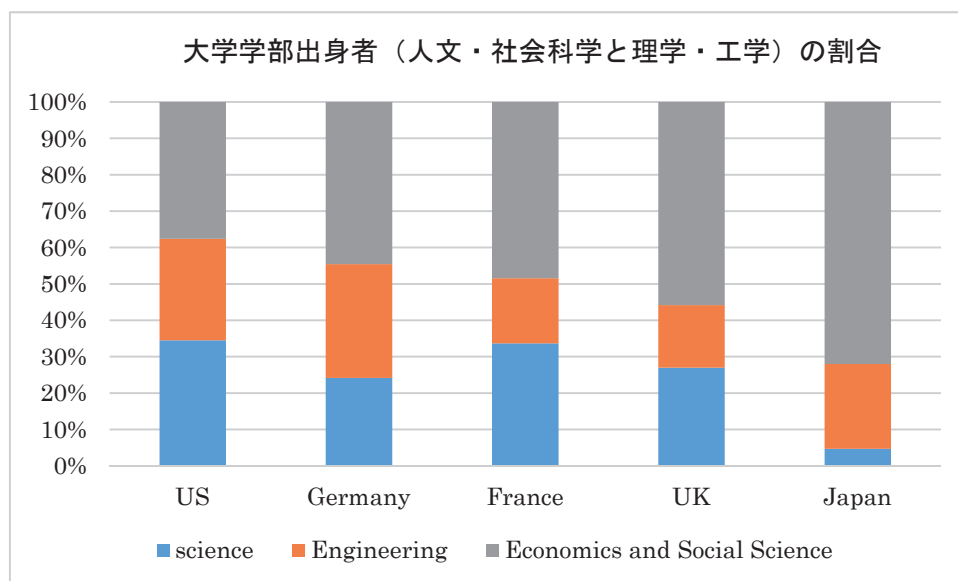
図表2 大学卒業専門別の割合

さらに、Deloitte のレポートでは、欧州での大学卒業生の専門別出身割合が調査されている(図表(2))。理工系出身者の割合は、ドイツは32%と文科系出身者の割合と比較して、かなり高い割合を示している。フランスや英国では、文科系出身者の比率は理工系出身者より高いが、フランスは25.8%、英国は23.1%で、それほど差はない。さらには、フランスや英国では、いわゆる理系出身者の割合はかなり高い。

1.2. 日本の現状

欧米と日本の理系人材の比較をしてみる。欧州については、オランダのレポートを使用している。米国は NSF が提供している学部卒業生の割合(2014)を利用している。日本については、科学技術振興機構が発表した平成21年の大学学部生のデータ(理学4%、工学17%、社会科学34%、人文科学15%)を用いる。米国が理学系の割合が多いのは、生命科学分野が強いことも要因のひとつである。我が国での大学卒業生をみると、圧倒的に文系卒業生が高い割合を占めている。工学系卒業生はほぼ海外水準、あるいはそれ以上といえる。一方、いわゆる「理学」の学生数が少ないために、「理系人材」が社会

全体で占める割合は高くない。上述の OECD の PISA Study による数学能力調査と World Economic Forum によって定義された Global Competitiveness Index の関係についての調査からは、「競争力のある国家は数学能力が高い」ということが示されており、日本の国際的な優位性を確保するためには、優れた資質が示されている若年層の数学能力を大学教育でも維持し、文系学部卒業者であっても、理論的な考察やビックデータの解析といったような数理的基本的スキルを習得していることが求められる。



2. 高校生に対する数学への意識調査

2.1. スーパーサイエンスハイスクールでの数学意識調査

(1) 調査目的

前節で述べたように、国際的競争力を高めていくために、特に、科学技術の基本言語である数学の運用能力を持つ人材を育成し、供給量を高めることは、我が国における喫緊の課題である。そのためには、次代を担う若年層の数学学習意欲を高めることが重要であり、その具体的な方法を明らかにすべく、理系人材の育成に力を入れている高校生を対象とした質問紙調査を実施し、データ分析を行った。この分析は、東北大学知の創出センタープログラムコーディネータの塩谷芳也氏の協力で行った。

(2) 方法

(2.1) 調査対象者

2015年11月にスーパーサイエンスハイスクール指定高校(男子校)の全学年の生徒を対象に質問紙調査を実施した。印刷した質問紙を数学科主任教諭に送付し、授業時間中に配布していただくことによって生徒による自記式調査を実施した。有効回収数は377であった。

(2.2) 調査内容

大学進学における第一志望の分野の他、(1)高校で実施される授業科目に対する好感度、(2)数学に対する興味関心の有無と数学に興味を持つようになったきっかけ、(3)数学の応用分野に対する関心、(4)大学進学において重視する基準、(5)職業選択において重視する基準について調査した。

(3) 結果

(3.1) 文系と理系の分布

まず、大学進学における文系志望者と理系志望者の分布を示す(図表1)。このデータでは、文系志望の生徒が約3割、理系志望の生徒が約7割となっていた。

図表1 進学志望の分布

	度数	%
文系志望	109	30.8
理系志望	245	69.2
計	354	100.0

(3.2) 授業科目に対する好感度

次に、数学に対する高校生の態度を把握するため、高校で実施される授業科目に対する好感度を分析する。結果は図表2-1、図表2-2の通りであった。理系志望の学生では、「数学」、「化学」、「物理」、「生物」といった理系科目に対する好感度が文系志望の学生よりも高かった。文系志望の学生においては、「社会」、「英語」、「国語」といった文系科目に対する好感度が理系の学生よりも高かった。ただし、英語については両者の差はごくわずかであり、実質的な文理の差は見られなかった。「地学」は理系科目であるにもかかわらず、理系志望の学生のあいだで最も好感度が低い科目となっており、文理の差は見られなかった。

理系と文系で好感度に最も大きな差があったのは「化学」と「物理」であった。両者の差は大きく、4段階評価のうちの1段階(どちらかと言えばそう思う/あまりそう思わない)に相当するほどの差が見られた。「社会」と「国語」についても文理のあいだで比較的大きな差が見られた。

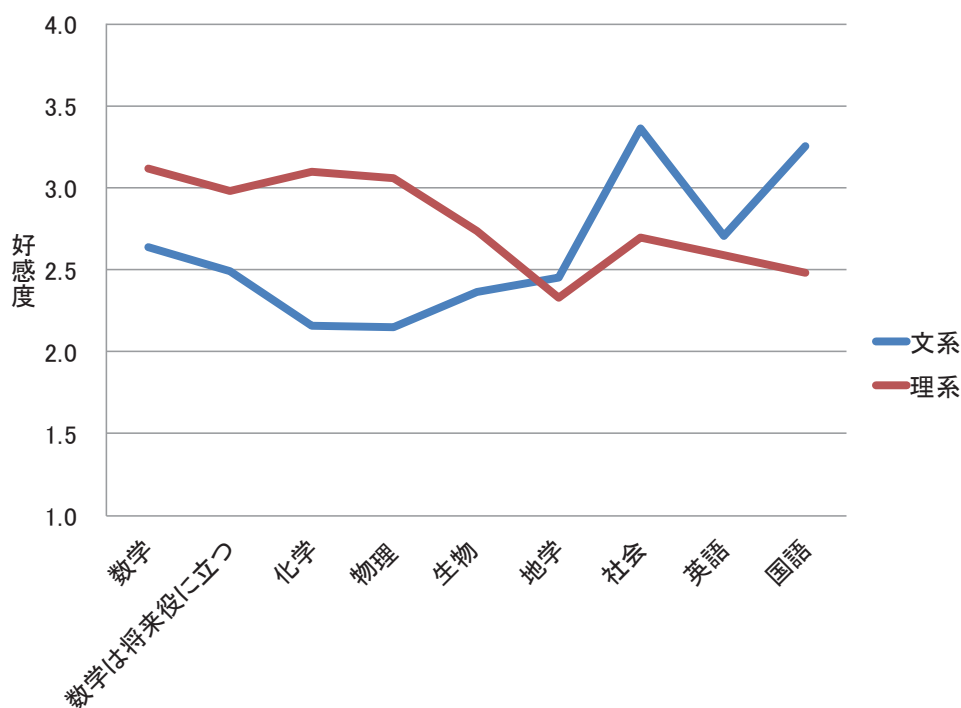
「数学」については、文系よりも理系の学生のほうが高い好感度を示していた。しかし、上記の4教科に比べると好感度の差は小さかった。「数学が自分にとって将来役立つと思うか」という質問についても同様の結果が観察された。すなわち、文系学生の「数学」に対する好感度や有用性の評価は特別に低いわけではなかった。

まとめると、理系学生と文系学生の授業科目の好みは明白に分かれる中で、「数学」は文理いずれにおいても好感度の上位4位以内に入っていた(理系で1位、文系で4位)。文系の学生においては、「数学」よりもむしろ「物理」や「化学」、「生物」といった理科系の科目に対する好感度が低かった。

図表 2-1 授業科目に対する好感度

科目	文系志望			理系志望			全体			F値
	平均	SD	n	平均	SD	n	平均	SD	n	
数学	2.64	1.08	109	3.12	0.89	241	2.97	0.98	350	19.27 ***
数学は将来役に立つ	2.49	1.02	108	2.98	0.94	238	2.83	0.99	346	18.93 ***
化学	2.16	1.08	109	3.10	0.94	241	2.81	1.08	350	68.41 ***
物理	2.15	1.12	108	3.06	0.92	241	2.78	1.07	349	64.03 ***
生物	2.36	1.04	109	2.74	1.03	238	2.62	1.05	347	10.00 **
地学	2.45	0.98	108	2.33	1.01	239	2.37	1.00	347	1.13
社会	3.36	0.96	108	2.70	1.09	240	2.91	1.09	348	29.38 ***
英語	2.71	1.09	109	2.59	1.05	241	2.63	1.06	350	0.91
国語	3.25	0.94	109	2.48	1.01	240	2.72	1.02	349	45.65 ***

** $p < 0.01$ *** $p < 0.001$



図表 2-2 授業科目に対する好感度

(3.3) 数学への興味関心とそのきっかけ

続いて、数学そのものに対する興味関心の有無について分析する。結果は図表3の通りであった。理系志望の学生の約75パーセントが「興味関心あり」と回答する一方で、文系志望の学生では、その比率は約55パーセントに留まり、およそ20ポイントの差が見られた。

さらに「数学に興味関心あり」と答えた回答者に限定して、数学に興味を持つようになったきっかけについて分析した。結果は図表4-1と図表4-2に示されている。きっかけとして多く挙げられたのは、上位から順に「塾の先生」、「学校の先生」、「本、雑誌」、「友人」、「両親」の5つであり、「塾の先生」が突出して高くなっていた。これらの項目は、本や雑誌を除くと、すべて学生周辺の「人間」に関するものであり、高校生においては、対人的な影響が数学に興味を持つきっかけとして重要であることが伺える。

ほとんどの項目では、文系と理系の差は見られなかった。しかし、「塾の先生」と「学校の先生」については文理で差異があり、文系のほうが理系よりも塾や学校の先生をきっかけとして挙げるものが多かった。「友人」についても同様の傾向が見られた。

以上の結果からは、数学に対する興味を学生に持たせるためには、文系、理系を問わず、周囲の人間からの影響が重要であり、中でも、塾や学校の教員からの働きかけが重要であること、そして、その効果は特に文系の学生において大きいことが推察される。

図表3 数学への興味関心の有無

	数学への興味関心		計
	なし	あり	
文系志望	48	60	108
	44.4	55.6	100.0
理系志望	61	182	243
	25.1	74.9	100.0
計	109	242	351
	31.1	69.0	100.0

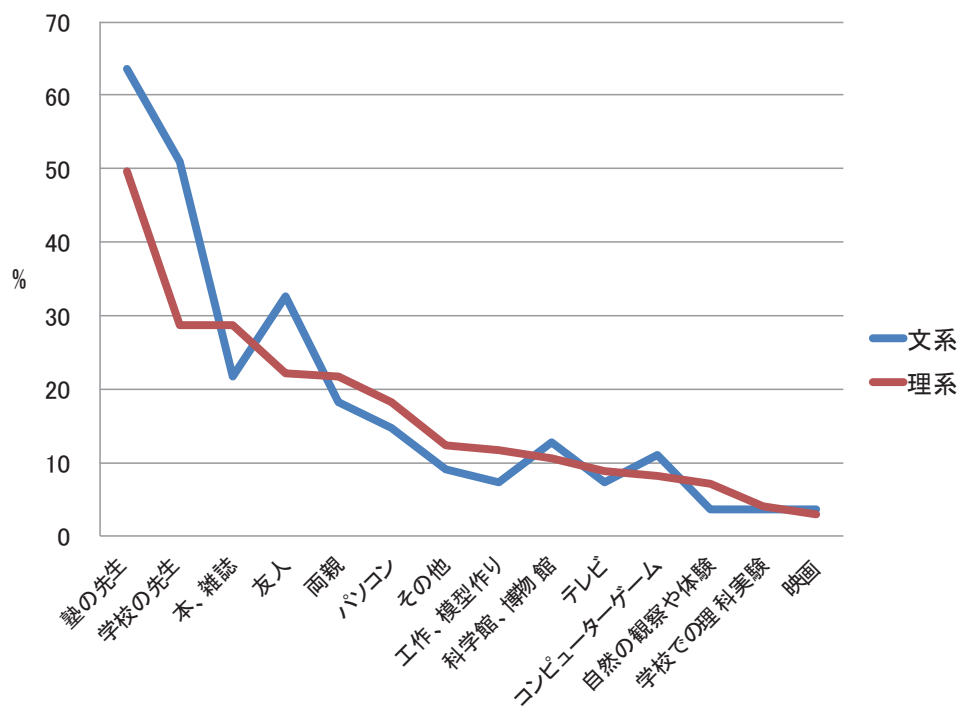
上段：度数 下段：％ $\chi^2 = 13.06^{***}$

*** $p < 0.01$

図表4-1 数学に興味関心を持ったきっかけ

	文系志望			理系志望			全体			χ^2 値
	度数		%	度数		%	度数		%	
	選択者	全体		選択者	全体		選択者	全体		
塾の先生	35	55	63.6	85	171	49.7	120	226	53.1	3.24 †
学校の先生	28	55	50.9	49	171	28.7	77	226	34.1	9.18 **
本、雑誌	12	55	21.8	49	171	28.7	61	226	27.0	0.99
友人	18	55	32.7	38	171	22.2	56	226	24.8	2.46
両親	10	55	18.2	37	171	21.6	47	226	20.8	0.30
パソコン	8	55	14.6	31	171	18.1	39	226	17.3	0.37
その他	5	55	9.1	21	171	12.3	26	226	11.5	0.42
工作、模型作り	4	55	7.3	20	171	11.7	24	226	10.6	0.86
科学館、博物館	7	55	12.7	18	171	10.5	25	226	11.1	0.20
テレビ	4	55	7.3	15	171	8.8	19	226	8.4	0.12
コンピューターゲーム	6	55	10.9	14	171	8.2	20	226	8.9	0.38
自然の観察や体験	2	55	3.6	12	171	7.0	14	226	6.2	0.82
学校での理科実験	2	55	3.6	7	171	4.1	9	226	4.0	0.02
映画	2	55	3.6	5	171	2.9	7	226	3.1	0.07

** $p<0.01$ † $p<0.10$



図表4-2 数学に興味関心を持ったきっかけ

(3.4) 数学の応用分野に関する興味関心

高校生の数学に対する態度を測定する最後の項目として、数学の応用分野についての関心の有無を分析する。ビッグデータや暗号等、具体的な応用分野を示し、興味のあるものを複数回答してもらった。

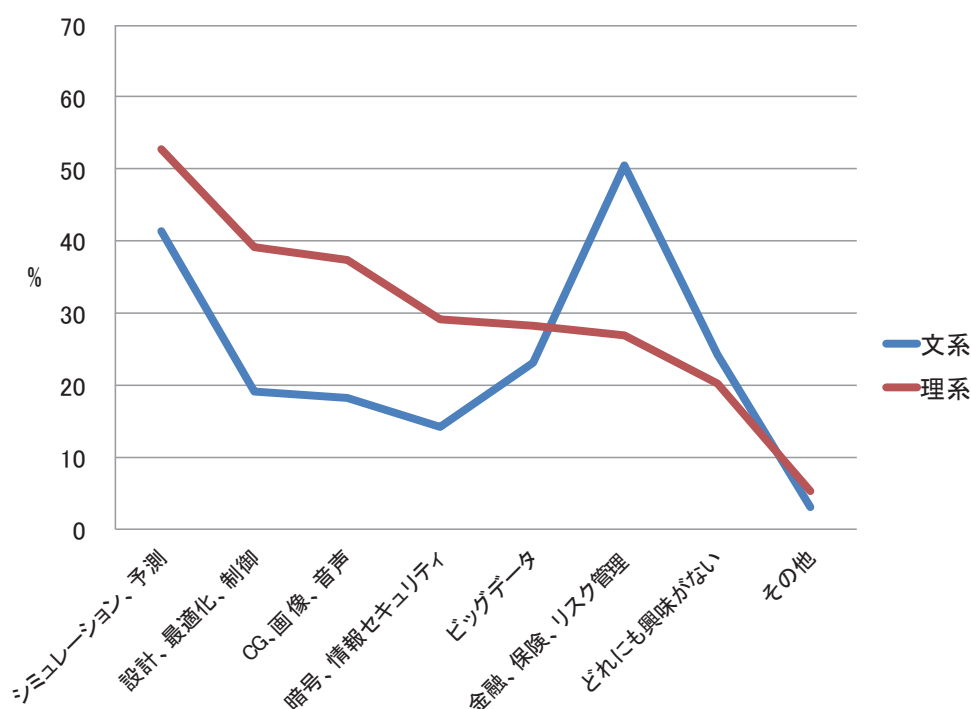
結果は図表5-1、図表5-2の通りである。「シミュレーション・予測」、「設計・最適化・

制御」、「CG・画像・音声」、「暗号、情報セキュリティ」については、文系学生よりも理系学生において興味関心が高くなっていた。一方、「ビッグデータ」に対する関心については文理のあいだで大きな差は見られなかった。さらに、「金融・保険・リスク管理」については理系よりも文系において興味関心が高くなっていた。

図表5-1 数学の応用分野に関する興味関心の有無

	文系志望			理系志望			全体			χ^2 値
	度数		%	度数		%	度数		%	
	選択者	全体		選択者	全体		選択者	全体		
シミュレーション、予測	41	99	41.4	123	233	52.8	164	332	49.4	3.59 †
設計、最適化、制御	19	99	19.2	91	233	39.1	110	332	33.1	12.37 **
CG、画像、音声	18	99	18.2	87	233	37.3	105	332	31.6	11.79 **
暗号、情報セキュリティ	14	99	14.1	68	233	29.2	82	332	24.7	8.45 **
ビッグデータ	23	99	23.2	66	233	28.3	89	332	26.8	0.92
金融、保険、リスク管理	50	99	50.5	63	233	27.0	113	332	34.0	17.04 **
どれにも興味がない	24	99	24.2	47	233	20.2	71	332	21.4	0.68
その他	3	99	3.0	12	233	5.2	15	332	4.5	0.72

** $p<0.01$ *** $p<0.001$ † $p<0.10$



図表5-2 数学の応用分野に関する興味関心の有無

まとめると、数学の応用分野だからといって、すべての項目において理系が文系よりも高い関心を示すわけではなかった。近年、その有用性が社会的に理解されつつあるビッグデータについては文理の差はわずかであった。さらに、文系出身者の就職先でもある金融、保険、リスク管理については、理系学生よりも文系学生のほうが高い

関心を示していた。

これらの結果は、数学に対する興味関心を喚起するためには、数学の「社会的な」有用性を示すだけでなく、「個人的な」有用性を示すことが重要である可能性を示唆している。

(3.5) 大学進学において重視するもの

ここからは、高校生の意志決定の構造について分析する。大学進学や職業選択という重要な意志決定場面において、高校生たちはどのような基準を重視しているのだろうか。

まず、大学進学において重視する基準について分析を行った。結果は図表6-1と図表6-2の通りである。文理間の差異は皆無であった。「最先端の勉強ができる」と「数学を利用する学問ができそう」の2項目においてのみ差が見られ、いずれも理系学生の重視度のほうがやや高くなっていた。

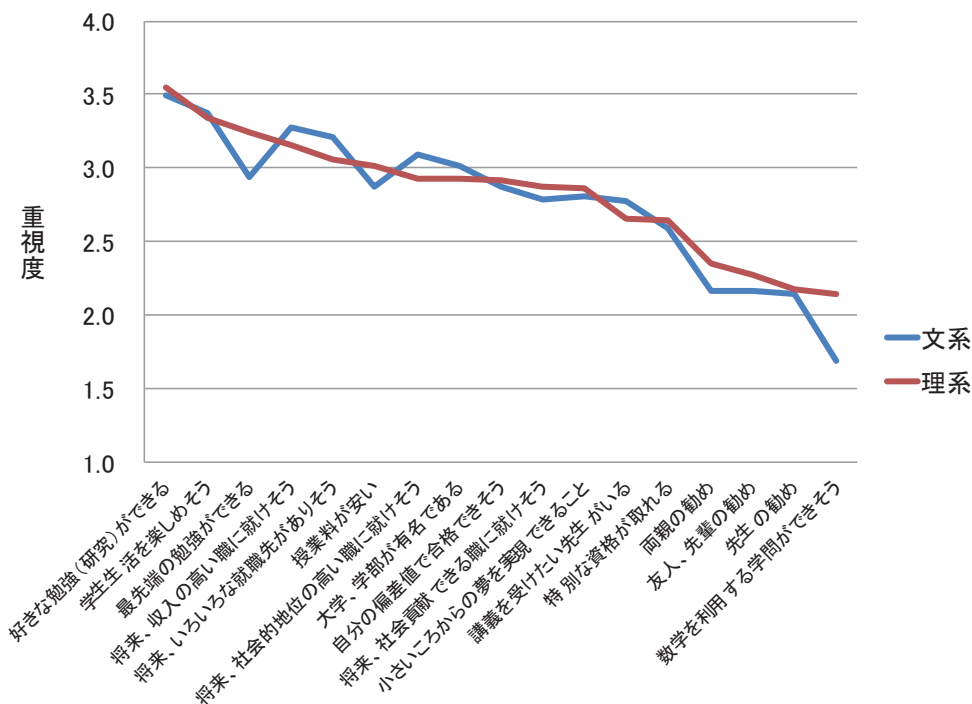
全体的な傾向を見ると、最も重視度が高かった項目は「好きな勉強(研究)ができる」と「学生生活が楽しめそう」であった。これらは大学生活における内在的な価値に関する項目であると言える。その後は「将来、収入の高い職に就けそう」、「将来、いろいろな職に就けそう」、「将来、高い社会的地位に就けそう」といった将来の社会経済的地位に対する大学教育の効果に関する項目が続き、さらに「授業料が安い」、「自分の偏差値で合格できそう」といった現時点における自らの経済的、能力的資源から見た入学可能性に関する項目が並んでいた。「小さいころからの夢が実現できそう」や「将来、社会貢献できる職につけそう」といった自己実現に関する項目に対する重視度は低く、「両親の勧め」、「友人、先輩の勧め」、「先生の勧め」といった他者の意見に対する重視度はさらに低かった。

要約すると、学生たちは他者の意見よりも自分の考えを尊重した主体的な進路選択を行っており、そこでは、好きな勉強ができることや学生生活を楽しむことといった大学生活の内在的価値(面白いかどうか)を最も重視しながらも、大学教育が将来の社会経済的地位にもたらす効果という手段的価値(得するかどうか)を検討し、次いで自分の学力や家庭の経済力といった利用可能な資源の観点から入学可能性を評価する(入学できそうかどうか)といった、複数の次元を考慮した極めて現実的な意志決定を行っていることが明らかになった。

図表6-1 大学や専門分野の選択において重視するもの

	文系志望			理系志望			全体			F値
	平均	SD	n	平均	SD	n	平均	SD	n	
好きな勉強（研究）ができる	3.49	0.82	106	3.55	0.75	231	3.53	0.77	337	0.49
学生生活を楽しめそう	3.38	0.85	107	3.34	0.88	230	3.36	0.87	337	0.15
最先端の勉強ができる	2.94	0.95	107	3.24	0.89	231	3.14	0.92	338	7.93 ***
将来、収入の高い職に就けそう	3.28	0.81	107	3.16	0.94	231	3.19	0.90	338	1.30
将来、いろいろな就職先がありそう	3.21	0.83	107	3.06	0.99	231	3.10	0.99	231	1.94
授業料が安い	2.87	0.98	107	3.02	0.94	230	2.98	0.95	337	1.66
将来、社会的地位の高い職に就けそう	3.09	0.91	107	2.93	0.98	230	2.99	0.96	337	2.02
大学、学部が有名である	3.01	0.94	107	2.93	0.97	229	2.96	0.96	336	0.50
自分の偏差値で合格できそう	2.87	0.93	107	2.92	0.94	230	2.90	0.94	337	0.19
将来、社会貢献できる職に就けそう	2.79	1.08	107	2.87	1.03	231	2.85	1.05	338	0.53
小さいころからの夢を実現できること	2.81	1.04	107	2.86	1.00	230	2.85	1.01	337	0.16
講義を受けたい先生がいる	2.78	0.98	107	2.66	1.00	230	2.70	0.99	337	0.98
特別な資格が取れる	2.59	0.92	107	2.65	1.01	230	2.64	0.98	337	0.22
両親の勧め	2.17	0.94	107	2.35	0.99	230	2.29	0.98	337	2.59
友人、先輩の勧め	2.16	0.92	106	2.27	0.97	230	2.24	0.95	336	0.95
先生の勧め	2.14	0.89	107	2.18	0.95	229	2.17	0.95	336	0.19
数学を利用する学問ができそう	1.69	0.87	107	2.14	0.95	229	2.00	0.95	336	17.08 ***

*** $p<0.001$



図表6-2 大学や専門分野の選択において重視するもの

(3.6) 社会に出る際に重視するもの

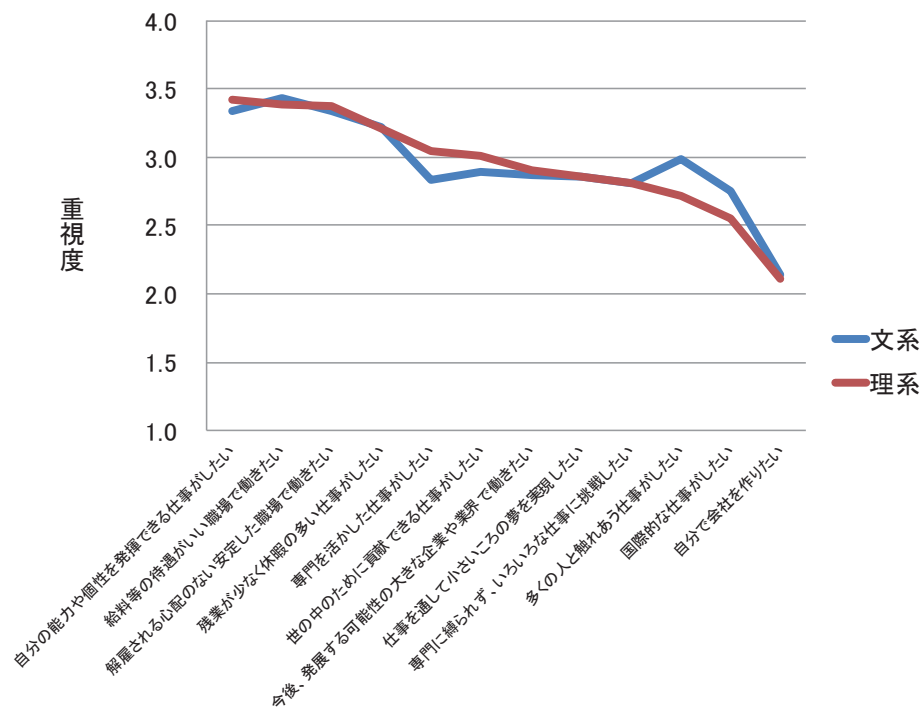
最後に、職業選択における基準とその重視度について分析した。結果は図表7-1と図表7-2に示されている。ここでも文理の差異はほとんど見られなかった。全体的な傾向としては、まず「自分の能力または個性を発揮できる仕事がしたい」という能力発揮の可能性を重視し、次いで給料や待遇の良さ、雇用の安定性、残業の少なさといっ

た社会経済的地位や自身の生活に直結する項目に対する重視度が高くなっていた。次に重視されていたのは、世の中に対する貢献や夢の実現というやや抽象的な項目であった。国際的な仕事をする事や自分で会社を作ることに対する重視度は低かった。「多くの人と触れあう仕事をする事」については、理系と文系のあいだに若干の重視度の差が見られ、文系のほうがこの項目を重視していた。

図表7-1 社会に出る際に重視するもの

	文系志望			理系志望			全体			F値
	平均	SD	n	平均	SD	n	平均	SD	n	
自分の能力や個性を発揮できる仕事をしたい	3.34	0.78	106	3.42	0.80	242	3.39	0.79	348	0.70
給料等の待遇がいい職場で働きたい	3.43	0.77	106	3.38	0.78	242	3.40	0.78	348	0.35
解雇される心配のない安定した職場で働きたい	3.34	0.79	105	3.37	0.80	242	3.36	0.80	347	0.10
残業が少なく休暇の多い仕事をしたい	3.22	0.88	106	3.21	0.91	242	3.21	0.90	348	0.00
専門を活かした仕事をしたい	2.83	0.88	106	3.05	0.92	242	2.98	0.91	348	4.14 *
世の中のために貢献できる仕事をしたい	2.89	1.04	106	3.01	1.00	241	2.97	1.00	347	1.07
今後、発展する可能性の大きな企業や業界で働きたい	2.87	0.90	106	2.90	0.94	241	2.89	0.93	347	0.09
仕事を通して小さいころの夢を実現したい	2.86	1.02	106	2.86	1.00	242	2.86	1.00	348	0.00
専門に縛られず、いろいろな仕事に挑戦したい	2.81	0.90	106	2.81	0.89	242	2.81	0.89	348	0.00
多くの人と触れあう仕事をしたい	2.98	0.84	106	2.71	1.00	242	2.80	0.96	348	5.77 *
国際的な仕事をしたい	2.75	0.98	106	2.55	1.04	242	2.61	1.03	348	2.81 †
自分で会社を作りたい	2.14	0.94	106	2.11	0.96	242	2.12	0.95	348	0.09

* $p<0.05$ † $p<0.10$



図表7-2 社会に出る際に重視するもの

(4) 考察

以上の結果を要約し、考察を行う。授業科目に対する好感度については、理系志望の学生は、数学、化学、物理、生物といった理系科目を好み、文系志望の学生は社会、国語、英語といった文系科目を好んでいた。両者の好みの違いは明白であったが、数学は文系志望の学生においても8科目中4位の好感度を示しており（理系では1位）、特別に敬遠されているわけではなかった。それよりもむしろ、生物、物理、化学といった理科系の科目に対する好感度が低くなっていた。

数学そのものに対する興味関心の有無については、文理のあいだには小さくない乖離が見られたが、文系志望の学生においても、約半数が興味ありと回答していた（理系では75パーセントであった）。

数学に対して興味関心を持ったきっかけについては、文理の差異にかかわらず、テレビや映画等の「メディア」やパソコンやコンピュータゲームといった「モノ」よりも、塾や学校の先生、友人、両親といった「人」からの影響が大きいことが明らかになった。中でも塾および学校における「先生」の効果は大きく、特に塾の先生は突出した効果を持っていた。そして、このような教員効果は、理系の学生よりも文系の学生に対して大きな効果を持っていた。

このことは、学生の数学に対する興味関心の喚起において、教師が果たす役割が極めて重要であることを示唆している。特に、数学に接する機会が相対的に少ない文系の学生に対しては、教師の働きかけの影響が大きい。科学館や模型作り、自然体験、学校での理科実験等の影響が微弱であったことを踏まえると、教師が実施する講義や、個々の学生との相互作用といった日常的な活動の中に重要な要素が含まれていると考えられる。

さらに、塾講師と学校教諭のあいだに大きな差（約20ポイント）があったことを考慮すると、学校教諭の取り組みには、まだまだ改善の余地があると言えるだろう。文系の学生においても、数学がそれほど敬遠されているわけではないという先の知見と合わせると、学校教諭が効果的な取り組みを実施できれば、数学に対する高校生の興味関心を全国的なレベルで底上げすることも可能であると思われる。具体的な取り組みの内容については、塾講師と学校教諭の比較研究によって明らかになると考えられる。

数学の応用分野に関する興味関心の有無については、ほとんどの項目について、文系学生よりも理系学生のほうが高い関心を示していた。しかし、近年、話題になり、その社会的な有用性が広く理解されつつあるビッグデータについては、文理の差はわずかであった。さらに、文系学生が就職することの多い金融、保険、リスク管理においては、理系よりも文系において関心が高かった。これらの結果は、数学に対する学生の興味関心を高めるためには、単に数学の社会的な有用性を示すだけではなく、数学の個人的な有用性を示すこと、すなわち「数学はあなたにとって役に立つ」というメッセージを伝えることが重要であることを示唆している。

大学進学に関する意志決定においては、基本的には文理の差は見られなかった。いず

れの学生も、好きな勉強ができることや学生生活を楽しめそうといった学生生活そのものから得られる価値を最も重視しながらも、大学教育が将来の社会経済的地位に及ぼす影響を考慮し、さらに自らの学力や家庭の経済力といった利用可能な資源の観点から入学可能性についても評価するといった現実的でバランス感覚のある意志決定を行っていた。さらに、このような意志決定は両親や友人、先輩等の他者の意見よりも、自らの意見を尊重した主体的なものであった。

職業選択においては、自分の能力や個性を発揮できることを最も重視しながらも、給与等の待遇の良さ、雇用の安定性、残業の少なさといった経済的地位や日々の生活への影響が大きい項目が重視されていた。夢の実現や世の中への貢献といった抽象的な項目の重視度は低く、国際的な仕事や起業することはさらに低く評価されていた。

大学進学と職業選択においては、重要な共通点が見られた。高校生は「大学で好きな勉強ができること」、「仕事を通して自分の能力や個性を発揮できること」といった内在的価値を最も重視する一方で、大学教育や当該職業がもたらす収入や雇用の安定性およびフレキシキュリティ（潰しが効くこと）、社会的地位といった社会的資源の獲得可能性という外在的な価値も重視していた。

以上の結果を総合すると、高校生の数学学習意欲を高めるためには、文系志望、理系志望を問わず、以下の2点が共通して重要であると結論できる。1つは塾や学校の教員が生徒に対して積極的に働きかけることによって、数学に対する生徒の興味関心を喚起することである。数学の内在的価値、すなわち、数学そのものの魅力に気づかせることにより、「面白いから数学を勉強する」という内発的動機づけを高めることができる。

もう1つは、数学が投資に値する活動であることを高校生に示すことである。数学を学ぶことが将来の社会経済的地位や雇用の安定性といった重要な資源の獲得に繋がることを客観的なデータに基づいて生徒に提示することである。これにより、「将来的に得をするから数学を勉強する」という外発的動機づけを高めることが可能になる。

さらに、外発的動機づけを高める上では、数学の応用分野がどのようにして実践的な価値を生み出しているのか、そのプロセスを理解させることも重要である。ここでは数学が「社会にとって役に立つ」だけでなく、「あなた自身にとっても役に立つ」という個人的なメリットに繋がることを示すことが重要である。

我が国においては、高校生時点における文理の区別によって選択可能な職業が大幅に異なるため、数学の有用性を示す具体例は、少なくとも文系用と理系用の2通りを用意する必要がある。この作業においては、高校生の数学力で理解できる範囲という制約の中で、数学の有用性を示す具体例を豊富に示すことが必要とされる。したがって、新たな教師の取り組みや、新たな教育カリキュラムは、このような方向に沿って展開されることが望まれる。

内発的動機づけと外発的動機づけの双方からアプローチすることにより、数学学習に対する高校生のモチベーションを効果的に高めることができると考えられる。21世紀

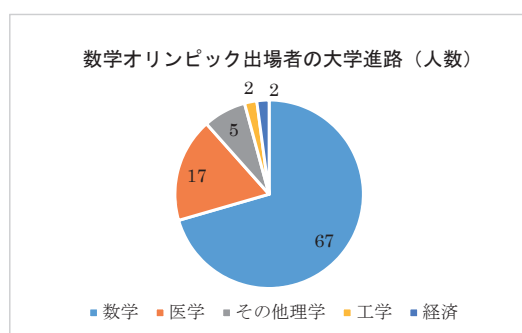
社会において求められる数学の運用能力を持つ人材の供給量を増やすための方策として、内発的動機づけと外発的動機づけの組み合わせアプローチが必要である。

2.2. 数学オリンピック学生への進路

数学オリンピック代表となった学生への進路について、数学オリンピック財団の協力のもとで、追跡調査を行った。調査可能者は93名であるが、まだ、大学に入学したばかりの学生、最終進路が不明な学生も多い。そのために、完全なデータではないことを先に断っておく。予想どおり、数学オリンピック大会出場者は数学に対する興味はかなり高く、数学を含む理工系と医学系への進学が多い。ここには具体的に数値を出していないが、ここ数年は数学系へ進学する学生はかなりの率となっている。追跡調査での結果は、大学進学の際には、ある程度の割合で、他分野へ進学している。数学へ進学した学生については、入学した大学の数学系の専門に留まり、他分野へ専門を変えることはほとんどないことがわかった。

調査可能者 93名

日本数学オリンピック財団から資料提供



- ・分野が変わることはほとんどない
- ・この数年は学部も「数学」へ進学する割合が高い

学部卒業後の進路（数学・医学への進学以外）

- ・他の理学系研究科 6
- ・企業 6
- ・国家公務員 2
- ・教員 1

2.3. 高校教員からみた数学への意識

(1) 目的

高校生の数学への好感度について調査したが、それとともに高校生を指導している数学教員がどのように実感しているかを調査することで、数学教育に対する指針を得たい。

(2) 調査対象と方法

ある県の教育委員会が県内の数学教員を選抜して行っている研修会に参加している数学教員18名へのアンケートを実施した。

【質問1】もし、学生に「数学科」や「数理科学科」への進学を勧めないとしたら、その理由は何でしょうか。

(自由記述回答からの抜粋)

- ・ 入試数学と純粋数学のギャップがある。
- ・ 大学数学と高校数学のギャップについていけないため。
- ・ 高校までの問題を解く数学と大学での学問としての数学は別物であるから。
- ・ 出口が少ない。先生(教授)になるのであればいいが、それ以外だと出口が少ない。
- ・ 学生の将来やりたい仕事にあまり必要がない。もしくは別の学科のほうが本人のためになる場合。
- ・ 修士課程まで進まないと企業は採用してくれない。博士課程まで進むと定職がない(ポスドクなど身分が不安定)。
- ・ 実社会と結びつきにくいところが難点である。

【質問2】大学で習った数学が、社会へ役立っているという例をご存じでしょうか。

(自由記述回答からの抜粋)

- ・ 具体的に社会へ役立っている例はすぐには見当たらない。物事の方法に大変影響を与えていると思う。
- ・ 特殊から一般へ考え方を広げる。
- ・ 考える課程や粘り強さなど、知識を使いこなせる力をつけていくこと。
- ・ いろんな分野(工学)最先端技術で役立っている。

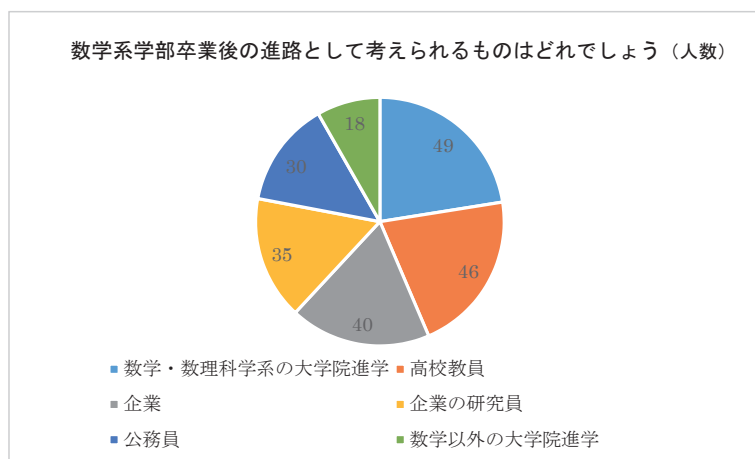
【質問3】学生が数学を習うことの意味はどのようなことだと思いにになりますか。

(自由記述回答からの抜粋)

- ・ 例えば計算など規則を守ってことを進めることができるようになる。
- ・ 不確定性のある問いに対して法則、規則を論理的に思考し解決する。
- ・ 論理的思考力を高める。
- ・ 物事をとことん追究し、難題であっても自らの力で解決しようとする姿勢が身に着く。

- ・ 数学的な思考力を身に着けることで、物事の判断に幅を持たせる。

【質問4】もし学生が大学の数学・数理科学系学科や学部を卒業した後は、どのような進路があると思っていますか。



【質問5】大学での数学・数理科学の教育について、どのようにお感じになっているでしょうか。

（自由記述回答からの抜粋）

- ・ 高校数学と大学での数学のギャップを感じる生徒が多いので、高大接続的な講座を設けるなどしてほしい。もうすでにあるのかもしれないが。
- ・ すぐに仕事に結びつく学問ではないと思うので、気長に考え方や説明できる力などをつければよいと思う。これからはデータの扱いができるとういのかも。
- ・ 大学で数学を学んで「数学は分からない」と感じた。卒論もなく、これで数学を学んだと言えるのかなと疑問だった。
- ・ 大変わかりにくい授業のイメージが強い。講義形式だとなおさらだと思う。

(3) 考察

アンケートは、一部の県の教育委員会の選抜により選ばれた数学教員であり、アンケート対象数が少ないこと、また地域の特性もある可能性も否定できないので、一般論として捉えることはできないが、下記の点については数学教育に対する重要な示唆を得たものとする。

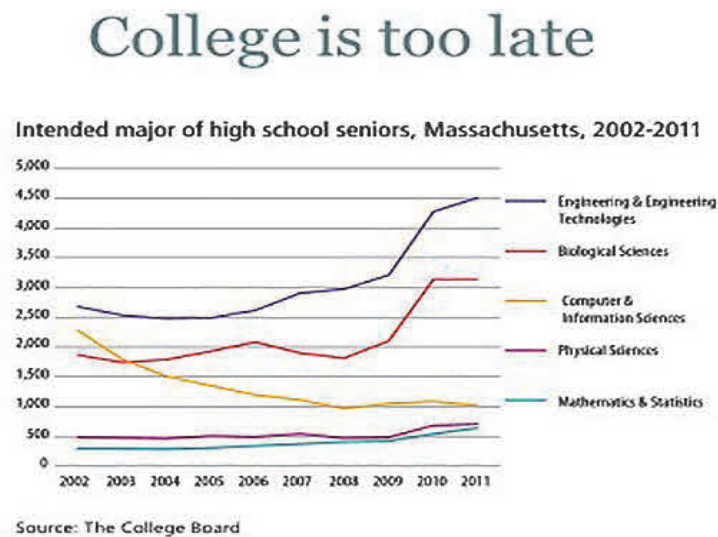
- (1) 「数学科」への進学を勧めないことがあるとするときの理由として、1) 大学の数学が高校との大きなギャップがある、2) 進路に不安がある、というのが大きな点であると思える。数学教員は、実際に「数学科」を卒業しているので、この2点については、大学側で十分検討する必要があると思われる。
- (2) 数学が社会に役に立っていることについては、異論なく考えられているように判断

できる。一方で、具体的にはという質問には、なかなか難しいように見受けられる。学生に数学の重要性を納得させる具体性が必要なのではないか。

- (3) 数学が実際に企業や他分野で必要であると実感している高校教員はそれほど多くないと感じられる。高校の教員あるいは今後教員を目指す学生へ数学のニーズや重要性の教育を具体的に行う必要があるように思える。

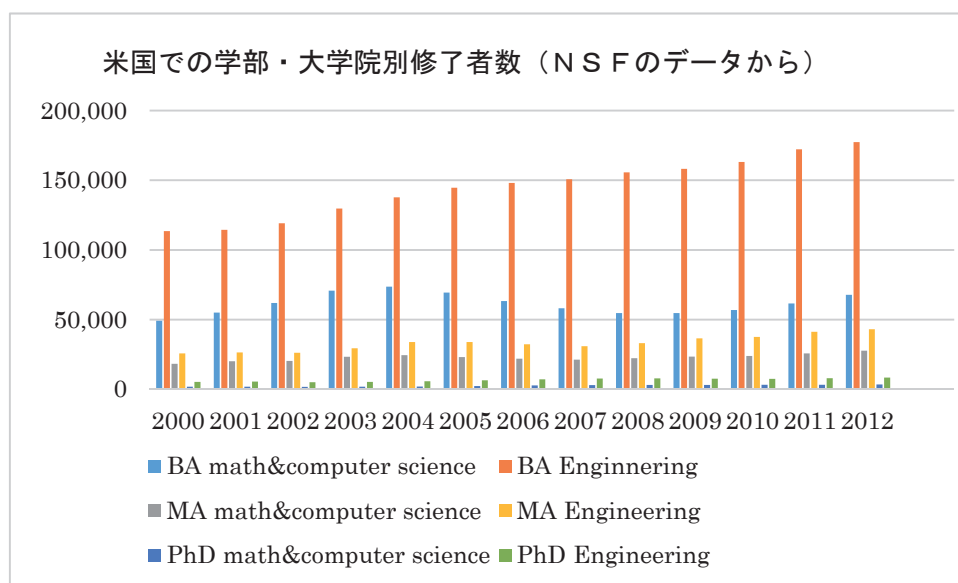
3. 米国における数学人材育成調査

3.1. 米国高校生の人材育成



図表3.1 マサチューセッツ州の高校生の進路

米国マサチューセッツ州は、米国の中でも教育熱心で、特に理工系への進学を推進している地区として知られている。図表(3.1)は2002年から2011年までのマサチューセッツ州における理系高校生の大学への専門別進路の動向である。この表からは、2007年あたりから工学への進学者が増加していることがわかる。生命科学は2010年まで進学者数は伸びてきていたが、2011年には停滞している。またコンピュータ科学への進学者が減少している。物理と数学はそれなりに進学者が増加していて、数学の進学者数と物理への進学者数はほぼ並んだ状態になっていることがわかる。



(1) PROMYS Student Program



(1.1) 概要 (<http://www.promys.org/>)

- ① Arnold Ross によって1957年に設立された Secondary Science Training Program (SST)の参加者たちによって1989年に設立された。
- ② 現在は、Boston 大学で毎夏行っているサマースクール。数学に関心のある学生を80名程度集めて行っている。修了した学生は1538人いる。
- ③ NSF の Young Scholar Program であった。
- ④ 現在は、Boston 大学、Clay Mathematics Institute (CMI) , Linde Family Foundation, National Security Agency (NSA) , American Mathematical Society (AMS) , PROMYS Foundation とその募金者によって運営されている。Boston 大学501© (3)のステータスでカバーされている。
- ⑤ 期間は夏6週間

(1.2) 進路調査

(追跡可能な修了生の約60% (1380名)についてのデータ)

① 大学への進学先

- ・ 数学を主専門にして他の副専門(工学、コンピュータ科学、物理、化学、生物)を選んだ理工系進学者 :830名 (1384名のうち60%)
- ・ PhD コース進学者 :522名 (55%)
- ・ PhD 取得(取得中)の人数 :428名
- ・ 理工学、工学、数学の PhD 取得(取得中)の人数 :416名
- ・ 数学 PhD 取得(取得中)の人数 :269名
(現在数学 PhD かポスドクの人数 :112名)

② 就職先

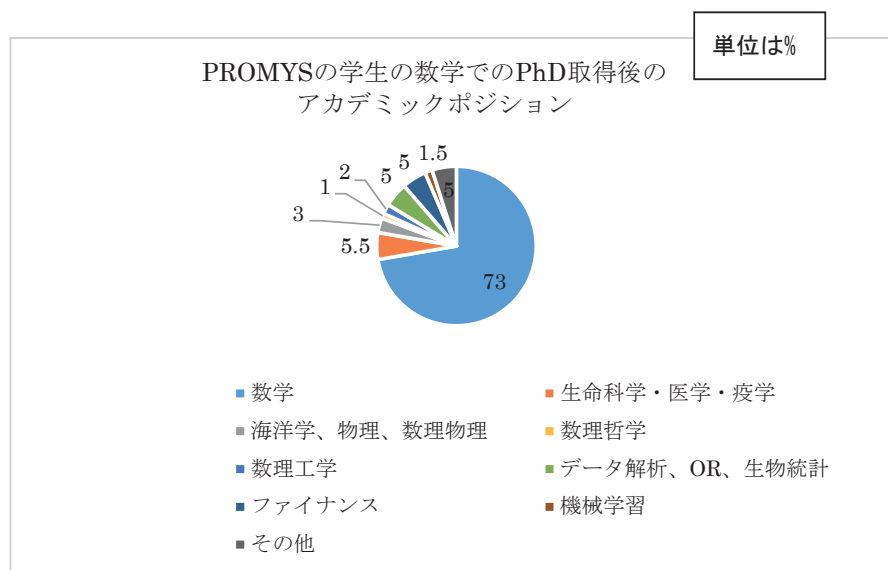
- ・ 少なくとも320名は数学(統計も含め)に関連した職種(大学院進学も含めて)を選んでいる。
- ・ 280名以上の卒業生は、コンピュータ科学か工学である。
- ・ 36名は物理学。医学、法律等その他の分野もいる。
- ・ 数学のアカデミックポジション、高校の先生、アクチュアリーである。
- ・ 522名の卒業生は理学、工学、数学の PhD を取得あるいは取得中である。
- ・ 269名の卒業生は数学 PhD コースに所属している。

③ 数学の PhD 終了後の進路

- ・ 数学の PhD を取得した学生の進路先
- ・ 少なくとも126名はアカデミックポジションを得ている(教授、准教授)
- ・ そのうち92名は数学の教授である。

④ 数学以外の PhD 取得学生のアカデミックポジション先

- ・ 生命科学、医学、疫学 5.5%・海洋学、物理、数理物理 3%・数理哲学 1%・数理工学 2%・データ解析、OR、生物統計 5%・ファイナンス 5%・機械学習 1.5%



- ⑤ 具体的な就職場所：Harvard (4名)、MIT (3名)、コーネル大学(4名)、スタンフォード大学(2名)、UC バークレー (2名)、プリンストン大学(2名)、シカゴ大学(3名)、ペンシルベニア大学(3名)。
- ⑥ その他特記すること: NSF Career (12名)、Sloan Research Fellow (8名)
- ⑦ PROMYS から数学以外の研究分野へ進んだ例
 - ・ Henry Cohn: Microsoft Research New England の創立者の一人。
 - ・ Carolyn Phillips: MIT で数学と文学の学位をとり、機械工学の学位を修士(MIT)取得後、海軍原子力工学研究者として数年間働き、その後ミシガン大学で応用物理の PhD を取得した。現在は、米国エネルギー省で働いている。
 - ・ Michel Mitzenmacher: ハーバード大学から数学の学位を取得後、ケンブリッジ大学で修士学位を取得、UC バークレーで PhD を取得している。ハーバード大学コンピュータ科学教授で238報の論文のほか多くの特許を取得している。

(1.3)インタビュー

- (1.3.1) 米国での「数学」を志望した高校生が大学、大学院と進む際の進路の選択について、PROMYS (主催者: Glen Stevens 教授) 事務所、および PROMYS に協力しているボストン大学 Steven Rosenberg 教授への質疑応答を行った。(回答者: PROMYS 主催事務所、Steven Rosenberg 教授)

【質問1】 PROMYS はどのような教育を行っているのか。

PROMYS のコースは標準的な高校の数学コースや大学での標準授業のコースではない。PROMYS に参加する学生は、大変優秀な学生であるが、大学レベルの知識(例えば微積分)は持っていないかもしれない。それゆえに、コースの授業は挑戦的な内容で、しかも急速に高度になっていくよう計画されている。しかしながら、そこで使うスキルは高校生が十分有した知識だけで理解可能なようになっている。加えて、我々は大学に行けば習うことのできる知識を教えようとは思っていない。コースは毎日講義を行うが、基本的に問題を与え、時間をかけて解くという形である。学生はほとんど毎日、他の学生やトップ大学で数学をメジャーにしているチューターと与えられた問題について議論を行う。また、大学の教授クラスとも議論をすることもある。問題を解いたあと、講義を聞いてもらうが、その計算法や理論は講義の2,3日後ぐらいに理解されることが多い。このような教育法は "immersion teaching" と呼ばれており、学生が外国語の文法を学ぶ前に行われる "immersion Language class" にあたる。

【質問2】 PROMYS の学生は60% が大学の数学(主専門)に進む。一方で40% の学生は数学以外の専門に行く。さらに、PhD 修了者の23% は数学以外の専門へ進むようである。これはどう考えるか。

PROMYS の修了学生が数学者になるかどうかより、PhD を取得する科学者にな

る割合が重要であると思う。40%のPROMYSの修了学生がサイエンス系のPhDを取得している。これほど多くのPhDを輩出しているプログラムはほかにはないのではと思う。(オハイオ州立大学での姉妹プログラムがあるが)。

【質問3】PROMYSからは、ある程度の数学以外の専門へ進む学生がいる。この理由はなぜか。米国の教育システムの効果であるか。

これはやや難しい質問である。一般に、米国での大学教育は、欧州やアジアからみて柔軟であるとはいえる。例えば、米国の大学では、学生が大学へ入学したときに将来の専門を決める必要がない。同様に、数学の大学院でも大学院の1-2年をすぎてから学生は研究領域を決めることが多い。したがって、学生は学部でも大学院でも他の研究分野を学ぶ機会を多く持っている。

加えて、米国では応用数学は非常に強い分野であり純粋数学より多くのファンディングの機会がある。統計は応用数学よりさらに強いだろう。結果として、多くの大学院学生が応用数学や統計での研究をすることになっていくのは自然である。そしてこれらの研究領域では生物、化学、ファイナンスといった横断研究に対する機会も多く生まれている。

4. 国内での学部における数学教育調査

数学融合研究を推進するためには、幅広い数学人材の育成が急務である。そのために、国内外の数学・数理科学系の大学で行われている教育プログラムをもとに、どのような工夫がされているかを調査してみた。特に、国内では、新しい理念で開設された数学・数理科学系の学部や学科がある。そのいくつかの例の調査を行った。

4.1. 国内における大学での学部数学教育

(1) 東京大学 理学部 数学科 (1 学年学生数 (45 名))

(1.1) 学科の概要

(1.1.1) 設立についての経緯

1877年東京大学が設立された時に理学部の一部として出発。1919年には、数学科の講義科目が設定されている。

(1.1.2) 教育目的

理学部としては、以下の人材の養成を目的としている。

- (a) 自然科学を中心とする諸分野の第一線で先端的な研究を行う研究・教育者
- (b) 産業界の要請及び諸研究開発機関などからの需要に応じた創意ある人材
- (c) 社会の諸方面において理学的素養をもって働く人材

さらに、数理科学研究科は以下の教育目的を掲げている。

数学、数理科学に関する体系的な知識と高度な研究能力を修得し、数学・数理科学の諸分野において、第一線で活躍する研究者、ならびに数学・数理科学の幅広い素養と専門的な判断力を身につけ、社会の広範な領域で新しい時代を担う人材を育成し、国際的な視野に立って高度な数学・数理科学の文化を醸成して社会の発展に資することを目的とする。

(1.2) 今までの数学科や数理科学科とは異なる特色について

アクチュアリー・統計プログラムが、学部教育特別プログラムの一つとして、平成17年に東京大学理学部に開設され、平成25年度で終了した。このプログラムでは、未来のアクチュアリーを養成していくと同時に、数理統計学の基礎を体系的に学んだ統計家を養成することを目的とし、現在のアクチュアリーに必要とされている基本的な知識の修得のみならず、将来アクチュアリーに必要となる、ファイナンス・リスク管理及びその統計的取り扱いも視野に入れ、確率論・統計学を包括的に教育し、保険数理の発展に寄与する人材を育成するものであった。終了後、ほとんどの関連講義が、理学部数学科および大学院数理科学研究科講義として開講されている。

アクチュアリー・統計プログラムでの必修科目：確率モデルと統計手法、確率モデルと統計手法演習、確率論、確率論演習

同選択科目：数理統計学基礎、確率過程論、確率解析学、アクチュアリー数理Ⅰ、アクチュアリー数理Ⅱ、保険理論、時系列解析、多変量解析、人口学、会計学基礎、経済学基礎、アクチュアリー統計セミナーⅠ、アクチュアリー統計セミナーⅡ

(1.3) 学生の進路について期待していることとその戦略

教育目的に沿った学生の育成をする上で、広い進路を選択してほしいと考えており、そのために、日本数学会異分野・異業種研究交流会への参加を奨励しているほか、同窓会の支援を得て「数理キャリアデザインセミナー・情報交換会」を開催している。

(1.4) 成功していると思えること

上記の人材育成は、アカデミックな進路に対してはおおむね成功している。

(1.5) 今後の課題について

広く社会で活躍する人材の育成には、課題が残っている。

(2) 慶應義塾大学理工学部 数理科学科 (1学年学生数(約60名))

(2.1) 学科の概要

(2.1.1) 設立についての経緯

慶應義塾大学工学部時代に、純粋数学、統計学・確率論、コンピュータ科学の3研究教育分野が融合する数理工学科が設立された。工学部の発展のために、数理的な研究教育が必要であるという要望に応えたものである。その後、理工学部へ改組されたときに、数理科学科となり、学生定員数も40名から60名に増員されている。このうち、40名が数学コース、20名が統計コースを選択することを基準にカリキュラムが作ら

れた。それにより、統計コースのカリキュラムは国内ではまれに見るほど充実した統計教育が行われている。また数学コースは理学士、統計コースは工学士という一つの学科で異なった学士号を出せる当時国内では唯一の学科であった。その設立趣旨から、実解析、複素解析、エルゴード理論、関数方程式等の解析系の教育と確率論、統計学およびコンピュータ教育を主体としていたが、その後、代数学、幾何学といった純粋数学研究教育分野が加わってきている。さらに、離散数学や最適化問題も研究教育分野の柱となり、多様な数学・数理科学教育を実践している。

(2.1.2) 教育目的

数学および統計科学など、数理科学の理論と研究手法を教授することで、抽象的・普遍的に物事を見る力やデータから情報を的確に読み取る力を育み、変化する時代においても確実な判断を下し、幅広く社会に貢献する人材の育成を目的とする。

(2.2) 今までの数学科や数理科学科とは異なる特色

3年次から、代数、幾何、解析、確率、離散数学を教授する数学専攻と統計科学、確率、離散数学、情報系科目を教授する統計学専攻に学生は分かれる。また、学生は所属する専攻に関わらず、科目を履修でき（数学と統計学の両方を学べ）、どの研究室にも配属可能である。

(2.3) 学生の進路について期待していることとその戦略

特徴的な点は、中高の教員あるいはアクチュアリー資格を目指す学生がいる点である。教員志望者については、慶應義塾内の高校で非常勤講師ができたり、そこに所属する卒業生も少なくない。アクチュアリー養成については、財団法人アジア生命保険振興センターより寄附講座を開設していただき、保険業界で将来活躍する学生の育成を経済学部・経済学研究科とも協同して行っている。

(2.4) 成功していると思えること

学部教育における数学専攻と統計学専攻という枠組みはやる気のある学生には非常に良い体制であると思う。

(2.5) 今後の課題について

数学、数理科学が様々なところで役に立っているという認識を、高等学校以下の生徒やその親に認識してもらうことであると考えている。

(3) 明治大学 総合数理学部 現象数理学科 (1 学年学生数 (80 名))

(3.1) 学科の概要

(3.1.1) 設立についての経緯

現象数理学科のルーツは理工学部数学科と 2007 年に設置された MIMS (明治大学先端数理科学インスティテュート) で、この MIMS が母体になり 2008 年から 2012 年に推進された文部科学省 GCOE プログラムが「現象数理学の形成と発展」である。その後、GCOE プログラムの終了を受け、活動の継承のために 2013 年 5 月に MIMS

のもとに現象数理解学研究拠点が設立された。この間2011年4月に単一専攻からなる独立研究科として先端数理科学研究科現象数理解学専攻が開設され、研究面だけでなく教育面での現象数理の方法論が煮詰められた。さらに現象数理解学の裾野を広げ継続的に発展させるため、2013年4月に新設の総合数理学部に現象数理解学科が設置された。

(3.1.2) 教育目的

正式には以下の「人材育成その他の教育研究上の目的」にあるとおりだが、一言で言うところ「現象数理解学の3本の柱(モデリング+シミュレーション+数理解析)を身に着け、社会の抱える様々な問題解決に数理科学を役立てることのできる人材の育成」である。
＜人材養成その他の教育研究上の目的＞

現象数理解学科は、世界を牽引する数理科学の教育研究拠点として、生命現象や経済活動などの自然や社会における複雑な現象を解明する現象数理解学の教育と研究を行う。数理科学の理論・応用及びコンピュータの密接な連携教育の下で、「現象から数理科学的問題を抽出する力」、「数理科学を自然や社会の問題解決に活用する力」及び「21世紀の新たな数学を創造する力」を培い数学と社会をつなぐ架け橋となる人材を養成する。様々なフィールドで数学の力を生かし、数理科学の探究に挑戦し続けることのできる人材を輩出し、社会に貢献する新たな教育研究を展開する。

(3.2) カリキュラム

学科カリキュラムについては、基礎教育科目は数理基礎と情報基礎に大別され、2年次までに配当される。数理基礎では一般的な理系学部同様に微積分や線形代数を中心に学ぶが、情報基礎ではプログラミング演習に重点をおいている。専門科目は4年間にわたり(といっても2、3年次に重点的に)配当されているが、大きく5つの科目群に分かれ、現象数理の基礎、コンピュータ数理、社会数理、創造数理、演習・研究に区分されている。

現象数理の基礎は、2年次までに配当され、文字通り現象数理を支える基礎理論であるモデリングとシミュレーションと数理解析を総合的に学ぶ必修科目群であり、数理リテラシー、現象のモデリングとシミュレーション、現象と数学の3科目から構成されている。中でも現象のモデリングとシミュレーションはこの学科の特徴がよく出た科目で、生態学や化学反応、振動や電気回路など分野横断的に題材を扱い、電気回路工作などを通じて実際に手を動かしながら、微分方程式によるモデリングと差分解法の基礎を学び、シミュレーション技法の基礎を身につけることを目指している。

社会数理(主にモデリング)、コンピュータ数理(主にシミュレーション)、創造数理(主に数理解析)の3つは、ほとんどが選択科目や選択必修科目で構成される大きな科目群で、現象数理の方法論の3つの柱に緩やかに対応している。学生は自分の進路の方向性にあわせて、この中のひとつまたは複数の科目群から履修科目を選択する。社会数理科目群では微分方程式や確率論・統計学を基礎として、物理・生物・医学・経済・金融など社会の様々な分野に適用される数理科学における様々なモデリング手法を学

ぶ。測度論や確率過程もこの科目群に含まれる。コンピュータ数理科目群には、画像処理とフーリエ変換、偏微分方程式とシミュレーションなどが配置されており、数理科学分野における中核的な可視化技術、シミュレーション技術を学ぶ。化学実験室を使った現象数理学実験や実験データ解析演習もこの科目群に含まれている。これらの科目群での学習が社会における卒業生の活躍の場の拡大に役立つことを期待している。3つの科目群の中では、創造数理科目群が一般の数学科のカリキュラムとの類似性が最も高くなっており、代数や幾何の科目は主にここに配置されている。教員志望の学生のために実験数学教育という科目も用意されており、新しい視点で数学の魅力を生徒に伝えられる教員の輩出を目指している。創造数理という科目群のネーミングには新しい現象に数学を適用しようとするのが新たな数学の創造につながるというニュアンスがこめられている。

(3.3) 今までの数学科や数理科学科とは異なる特色

上述のように、現象数理学の方法論を反映したカリキュラムの独自性が最大の特徴である。

また、学科専用の化学実験室を有し、電子顕微鏡やプロ仕様の金融情報端末など、今までの数学科や数理科学科にない設備を用いて授業や研究指導を行っている。

(3.4) 学生の進路について期待していることとその戦略

数学の基礎学力をベースに、様々な分野の現象と数理のつながりを実験やシミュレーションを通じて学び、コンピュータを用いた数理的アイデアの実装能力を醸成することにより、従来よりも幅広い領域で活躍することを期待している。

(3.5) 成功していると思えること

学科特別仕様の個人用 Mac Book を毎日授業や演習で使うので、学生のコンピュータ・リテラシーは向上している。現象数理学ならではの微分方程式や確率モデルのシミュレーション、数値解析の教育は比較的順調で、現在の最高学年の学部3年生でも、身の回りの現象を研究題材に選んで、教員と共著で海外で研究発表するような事例もでてきている。

(3.6) 今後の課題について

とりあえずはこのまま無事に完成年度(2017年)を迎えることが最優先課題である。

5. 米国の大学・大学院教育カリキュラム

我が国の数学の大学学部カリキュラムと比較するために、米国の数学の大学学部教育について調査をした。また、ここでは、工学教育での数学についても、ヒアリングや意見を集めてみた。

5.1. 米国大学の数学コースカリキュラム例

米国での学部教育は、基本的にメジャーを決めて、そのメジャーを取るために要求されている科目を履修するようになっており、科目履修の柔軟性が高いといえる。さらに、ダブルメジャーの制度もあり、さらに自由度をあげている。それらが様々な分野への進路を選択する一つの要因でもあるといえる。州立大学として典型的なバークレー大学では、数学科以外に、統計学科や応用数理学科があり、数学の幅を広くしているとも言える。これは、大規模な大学でできることでもある。また、東海岸の私立であるボストン大学は、数学と統計を統合して学科を構成している。このように、数学と統計を組み合わせる教育機関が存在するというのも、米国での特徴である。米国では、応用数学やファイナンスが高いニーズになっているために、大学政策として重要な戦略である。米国での学部および大学院の数学教育についてカリキュラムから見えることは、1) 米国の数学科学部教育では、数学専門への導入授業やセミナーを通じて、なぜ数学を学ぶのかという意識を高める工夫がされていること、2) 米国の学部教育のなかに、数学との融合研究へも視野が広がるような科目が用意されていること、3) 学部での専門性は日本と比べるとそれほど高くないこと、などである。むしろ大学院に入ってから専門教育を行っているように見える。日本での数学科や数理科学科での教育は、専門性は米国と比較すると格段に高度に見える。

カリフォルニア大学バークレー校での数学メジャーの取得のための要求は以下のようなものである。米国の場合はやや複雑で、高校で習ってきたものをスキップできるような科目もある。

LOWER-DIVISION REQUIRED COURSES

Mathematics 1A Calculus
Mathematics 1B Calculus
Mathematics 53 Multivariable Calculus
Mathematics 54 Linear Algebra & Differential Equations
Mathematics 55 Discrete Mathematics

UPPER-DIVISION REQUIRED COURSES

数学メジャーが取らなければならない4科目

Mathematics 104 Introduction to Analysis
Mathematics 110 Linear Algebra
Mathematics 113 Introduction to Abstract Algebra
Mathematics 185 Introduction to Complex Analysis

TWO SEMI-ELECTIVES

数学メジャーは以下のリストの少なくとも2つのコースをとらなければならない。

Computing: Math 128A Numerical Analysis

Geometry: Math 130 Classical Geometries, Math 140 Metric Differential Geometry, Math 141 Elementary Differential Topology, Math 142 Elementary Algebraic Topology, or Math 143 Elementary Algebraic Geometry

Logic and Foundations: Math 125A Intro to Logic, Math 135 Intro to Theory of Sets, Math 136 Incompleteness and Undecidability

TWO ELECTIVES

数学メジャーはそのほかに、upper division か大学院の授業を、あと2コースとらなければならない。基本的に2年間で8つのコースを要求している。優秀な学生はこれらのコースを1年目、2年目からスタートでき、3年生、4年生では大学院の科目も履修できる。

また、ボストン大学では数学メジャーは14コース(1コース4時間/週)を取る。全部で32コース(128時間)を取ることで卒業ができる。多くの学生は、メジャー以外から科目をとっている。

5.2. 米国での工学教育での数学について

プリンストン大学工学部(School of Engineering and Applied Science)での学部カリキュラム、特に数学教育について、Associate Dean Peter Bogucki (ピーター・ボグスキー副学部長) および、プリンストン大学小林久志名誉教授に直接伺った。小林久志教授はプリンストン大学工学部長を務め、またIBM東京基礎研究所所長も歴任されている。日米の工学系教育について、そのご経験をもとに、ご意見をうかがった。

(1) プリンストン大学での数学教育概要

対応者: Associate Dean Dr. Peter Bogucki, Princeton University

プリンストン大学では、2つの学部学位を授与する。人文学、社会科学、自然科学(数学を含む)の学生を対象とするBachelor of Arts (BA)と工学部専攻の学生に与えられるBachelor of Science in Engineering (BSE)である。各々、学位取得の要件が決

まっている。これらの学位に数学教育がどのように含まれているかについて回答する。

BAの学位を目指す学生全員に求められる数学の単位は、”quantitative reasoning (定量的推論)”と呼ばれているが、数学、統計、コンピュータ科学の科目を一つ履修すればよい。自然科学を専攻する学生は多変数の微積分のみならず、多くの数学系科目を履修しなければならない。人文・社会科学系の学生の数学教育をどうすべきかは我々にとっても課題である。人文・社会科学の学生にも統計の科目を必須にすべきという意見もあるが、プリンストン大学ではまだ公式には行っていない。人文・社会科学の学生でも基本的な数学の習得は重要であると考えており、今後解決すべき問題である。人文・社会科学系の学生を対象とした Math Alive! (Math 199) と呼ばれる数学のコースが開設されているが、これを履修する学生は未だ少ない。

<http://www.math.princeton.edu/course/mat199/spring-2013-spring2014>

http://people.maths.ox.ac.uk/griffit4/Math_Alive/index.shtml

BSEの学位を目指す学生は全員、数学科目:1) MAT103: Calculus 1 (1変数の微積分)、MAT 104: Calculus 2 (1変数の微積分(続))を履修しなければならない。これらの科目は高校で履修している学生もいる(Advanced Placement, International Baccalaureate higher level, or British A-level exams)、2) MAT201: 多変数の微積分、3) MAT 202: 線形代数である(<http://www.math.princeton.edu/undergraduate/courses/>)。

工学部の各学科ではほかに多くの数学科目の履修を義務づけている。例えば、微分方程式、確率論、離散数学等である。また、必要な数学を工学指向で教えてもいる。たとえば、フーリエ解析は信号処理のジュニア(学部3年生)レベルの科目で教える。

【質問】工学部では数学の基礎科目は数学専門家が教えるのか？微分方程式やフーリエ解析のような数学科目はどうか？もし、数学専門家以外がこのような科目を教えているとしたら、それで十分だと思われるか？

Calculus や線形代数(linear algebra)については数学科の教授が担当している。これらの科目は、工学、自然科学、社会科学等の学生が履修している。工学部からは、学生が工学コースへ応用できるように教えられていないという苦情がある。その理由から、微分方程式は1970年ごろから機械・宇宙工学科の教授、離散数学はコンピュータサイエンス学科、確率論はOR・金融工学科の教授が担当している。彼らは数学を教える能力を持ち、工学の専門家でもある。たとえば、Howard Stone 教授は微分方程式の教師として評判が高い。Stone 教授の経歴(<https://www.princeton.edu/mae/people/faculty/stone/>)をみてもらえば分かるように、彼は単なる数学者ではなく、多くの応用を目指している。プリンストン大学の教育は、特別な例外を除いて、全て正規の教授陣が担当する。工学部で必要と思われる他の数学についても、関連した学部や学科の教授によって担当される。フーリエ解析を信号解析の授業で教えるのは電気工学科の教授である。工学部の目的には、このような形が妥当だと考えている

し、実際、工学部の教授達はこのような形態を好んでいる。数学科の教授が教えたが
るような理論的な数学は工学での実用上の問題には役立たないからである。

(2) 工学部における数学教育への意見

工学部における数学教育について、プリンストン大学および
米国での工学教育をもとに、小林久志氏(プリンストン大学名
誉教授、元工学部長、IBM 東京基礎研究所元所長)に意見を頂
いた。以下がそのまとめである。



- (2.1) 学部および大学院での日本と米国の工学教育の違いについて
最初に、大学以前の教育について筆者の意見を述べたいと
思う、その後に大学学部および大学院での教育についての筆
者なりの考察を加えたい。

(2.1.1) 大学入学以前において優秀な学生を育成する必要性

米国の才能ある高校生は、高校在学中に数学や科学の Advanced Level の講義を
自分の高校あるいは最寄りの大学で受講したり、その知識を認定する試験を受け、
“Advanced Placements (APs)” (付記1) の単位を得る。APs 試験の結果は SAT
(Scholastic Aptitude Test, 日本での入試センター試験に相当) の得点に加えて大学
の入学選考基準の要素となる。これらのスコアに加えて、高校での成績表、小論文(エッ
セイ)、推薦状、課外活動やボランティア活動で示されたリーダーシップの能力等が入
学選抜の際考慮される。

微積分での AP の履修証明を持っている学生は、大学に入学直後から Advanced
calculus のコースを履修することができる。物理や他の自然科学のコースについて
も同様である。日本では、標準的なカリキュラムコースに従うことが求められている
ので、優秀な学生でもそれ以上の内容を高校時代に勉強する機会が容易に得られない。
([日本の大学と教育界に期待する、電気学会誌創立125年記念誌] :

<http://hp.hisashikobayashi.com/wp-content/uploads/2014/05/4JTokushuu-1-1.pdf>
を参照)。

米国では大学、大企業、慈善団体などが中心となって上記のような優れた若者の才
能を培うプログラム、コンペティション、奨学金などが多数あるが(付記2)日本の教
育界や社会は天分に恵まれた若者を認知し、その才能をさらに育成する環境を殆ど提
供していない。サイエンス、工学、芸術に秀でた才能を持つ若者の育成は日本の世界
への貢献のみならず、産業経済における国際競争力にとっても重要である。

(2.1.2) 工学部における数学教育

米国の大学での教科書は数学のレベルを落とさず、しかも学生にとって興味ぶかく分かり易いように工夫して書かれている本が多い。プリンストン大学では、どの科目でも、殆ど毎週宿題が課されたり、クイズと呼ばれる小テストが学期中何度も行われ、各時点で学生がどの程度講義の内容を理解しているかを確かめる。日本の大学では宿題を出すことは殆どない。従って、講義内容をコースの最後まで十分消化している学生は少ないのではないか。

米国の教授は TA (Teaching Assistant) を使って、宿題や試験の学生の答えを丁寧に採点し、添削した答案を学生に返すので、学生はどこで間違えたのかを理解し、教授や TA が示す回答集と比較して、自分の解法とは違う手法もあるのだと知ることができる。このようなきめ細かい対応が日本の大学でも必要であろう。

米国のリサーチ・ユニバーシティ (教授達が教育の他研究にも従事する大学) では、教授を評価する際、研究成果がもっとも重要ではあるが、講義内容や教育のスキルの評価も重要で、昇進や昇給にも反映される。教育面で卓越した教授に与えられる “Teaching Award” は米国の大学では一般的なことである。プリンストン大学では、毎年全学から選ばれた 2、3 名の “Best Teachers” が卒業式典で表彰される。また、地元ニュージャージー州の高校の教員の中から選ばれた卓越した数人の教師もプリンストン大学の卒業式典で表彰される。大学と地元の高校とは、このような表彰プログラムや、将来教師を目指すプリンストン大学の学生を実習生として地域の高校に送り込む Teacher Preparation Program (<https://teacherprep.princeton.edu/>) を通じて緊密である。

(2.1.3) 工学における大学院教育

米国大学の大学院では、最初の 2 年間は講義が重要視されている。一方日本の大学院では (少なくとも私が東京大学の学生だった頃) 修士論文の研究を中心に必要な知識を適宜学べという教育方法を取り、講義は二の次である。米国の大学院では、系統だって準備された授業を多数受講することで、学生は自分の研究テーマのみならず、広い分野の知識を習得することができる。しばしば輪講形式をとる日本の大学院授業では学生が、研究テーマ以外の分野にも強い関心を持ち、尚且つ自分自身で学習する能力がなければ、米国の PhD のように幅広い知識は身につかない。

日本での大学院教育で改善すべき点として、1) 良く準備された講義、2) 良い教科書、3) 宿題、4) 厳格な試験と単位評価、を進言する。特に、2) の良い教科書については、日本語での教科書は市場規模が小さいので、米英のように充実した内容の分厚い教科書を執筆して出版する動機づけが低い。英語で書かれた教科書を使い、講義の上手な外国人教授に授業をしてもらうのが、大学の国際化の面からも良いのではないかと考える。有能な教師がいない場合は MOOCs の活用も検討すべきであろう (付記 3)。

勿論これは学生の英語能力の高い大学院のみで可能なことである。

(2.1.4) 工学教育での数学の重要性

学部の数学プログラムとして、電気工学では、1) 微積分、2) 線形代数、3) フーリエ変換とラプラス変換、4) 確率論と統計の入門などが、重要だと思う。コンピュータ科学では、離散数学あるいは「CONCRETE (CONTinuous and discrete) 数学」が重要であると思う。それらには、順列組み合わせ、グラフ理論、数論入門のトピックが含まれている。データ構造、アルゴリズム、暗号、計算の複雑さ (computational complexity) などの理解に上記の数学が使われる。情報科学や通信理論を専攻する大学院生は、応用確率論、ガウス過程、ポアソン過程、マルコフ連鎖、ランダムグラフ、ガロア体、ヒルベルト空間といった数学の概念を知っているべきである。

私は、プリンストンの大学院で“情報システムにおける確率過程”という講義を長い間、受け持った。このコースには、電気工学科で情報・通信分野を学ぶ学生だけでなくコンピュータ科学科の学生も出席していた。この講義内容がコンピュータ科学で現在最も注目されているマシン・ラーニング (機械学習) の分野に役立つからである。

ビッグデータを扱うためのいわゆるデータ科学はコンピュータ科学、統計学の研究分野にも関わっていると思う。現在のデータ科学の中心は、データ構造の表現、保存と検索、並列計算、データの可視化などの技術が中心となっているが、膨大なデータから意味のある情報を引き出すには、機械学習と新しい統計解析法が求められている。この分野の研究やカリキュラムの開発は、現在急速な発展をしている。日本でも、統計学、データ解析、データ可視化や機械学習の研究者がチームとなりこの分野での人材を育てる教育内容の構築が緊急の課題であろう。(詳細は付記4を参照)。

(2.1.5) 工学教育における数学教員の役割

学部レベルでの数学科目 (線形代数、微分積分、実解析、複素解析、微分方程式など) は数学者が教えてよい科目であろう。工学部の大学院のコースで求められる数学は、数学を手法として使うものであり、電気工学、機械工学、OR・金融工学、コンピュータ科学等の教授が教えたほうが良いと思う。確率論を例にとれば、数学科では測度論 (measure theory) のアプローチで教えるが、これは工学系の多くの学生の理解度を超えており、また彼らの勉強や研究に必要なというのが筆者の意見である。数学の厳密性にこだわる数学科の教授は、工学系学生のニーズとのミスマッチを引き起こす恐れがある。数学の応用に興味をもち、コンピュータを使いこなし、数学理論を目的としてではなく、道具として教える能力と情熱を持つタイプの数学者がこれから益々要求されるのではないかと思う。

付記1. ピーター・ボグスキー副学部長の意見では、AP クレジットに過度の重きを置くことは慎むべきである。AP スコアはあくまで全国の平均的な高校を対象とし、生徒がある程度の高度の教科内容を身に付けているかどうかの目安を与えるものであり、Calculus の AP で最高点の5点を取った学生でも、プリンストン大学で

MAT201（多変数微積分）の科目で A の成績を取るか、D の落第点しか取れないかは、予測がつかないからである。

付記2. 大学が提供する英才教育

Mr. Noah Golowich が高校時代に MIT 主催の PRIMES: Program for Research in Mathematics, Engineering and Science for High School Students に参加したことは上述したが、どの有名大学も高校生対象の英才教育プログラムを持っている。プリンストン大学の場合は Teacher Preparation Program を通して地元の優秀な高校生を見出し大学の講義を受講する機会を与えている。

付記3. MIT などのオンライン公開講座

MIT の提供する公開講座 (Open Courseware) のリストを見れば講義のシラバスなど参考になる情報が多くある。<http://ocw.mit.edu/courses/#mathematics>
統計のコースでは次の二つが参考になろう。

<http://ocw.mit.edu/courses/mathematics/18-443-statistics-for-applications-spring-2015/>

<http://ocw.mit.edu/courses/sloan-school-of-management/15-075j-statistical-thinking-and-data-analysis-fall-2011/Syllabus/>

ハーバード大学と MIT 共同の edX という MOOCs (Massive Open Online Courses) の中で、ビジネスや生命科学などを応用分野とする統計学のコースとして https://www.edx.org/course?search_query=statistics

がある。更に edX の競争相手である Coursera が提供する統計学のオンライン・コースに <https://www.coursera.org/courses?query=statistics&languages=en>

がある。社会科学、ビジネス、健康への応用を対象としている。いずれもシラバスなどが参考になろう。

付記4. プリンストン大学における、統計、ビッグデータ、機械学習 のコース

プリンストンでの学部レベルの統計学のコースは社会科学系の学科も含めていくつかの学科が提供する。OR・金融工学科の ORF 245 Fundamental of Statistics が規範的なコースであるが、文系の学生には数学的にレベルが高すぎるようである。ビッグデータに関しては ORF250 Analysis of Big Data がある。

「統計と機械学習」の Certificate Program が最近学部学生向きに導入された。

6. 数学・数理科学学生のキャリアパス

数学での人材育成のために、キャリアパスが大きな問題となる。数学専門を修得した学生が社会へ貢献できるための出口が必要である。この現状を日本数学会の協力による進路調査と米国における学生の動向、また数学からのキャリアの一つであるアクチュアリーについてインタビューを含めて調査した。

6.1. 日本数学会における産学連携を通じた若手数学者の人材育成

日本数学会では、「将来を担う若手数学者の育成」は、日本数学会として重要な事業の一つであると捉え、数学・数理科学研究分野での大学院後期博士課程学生やポスドクのキャリアパス支援を行うべく、日本数学会内にワーキンググループを立ち上げ、支援策の検討を行い、進路調査や毎年の学会においてキャリアパスセミナーを実施してきた。さらには、ワーキンググループを発展させ、文部科学省、日本数学会、日本応用数理学会、および企業が協力しあって「社会連携協議会」を設立、学会におけるキャリアパスセミナーの活動のほかに、新たに「数学・数理科学学生のための異分野・異業種研究交流会」を行っている。社会連携協議会幹事および東京大学キャリアアドバイザーを務めている池川隆司氏にまとめていただいた。

(1) 文部科学省と数学会におけるキャリア構築支援の系譜

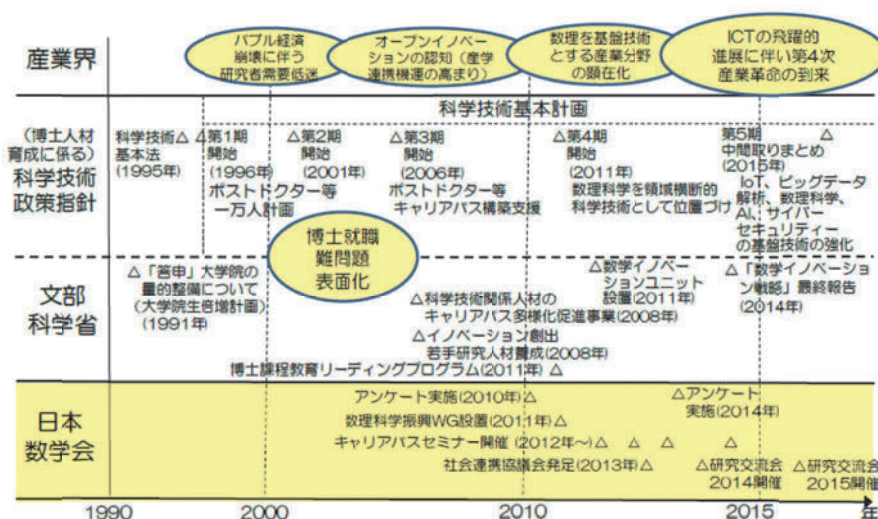


図1 文部科学省・日本数学会におけるキャリア構築支援の系譜
【出典】池川, 日本数学会数学通信, Vol.19, No. 4, pp. 26 - 33, 2015年2月の図1を最新化

図1に文部科学省と日本数学会が実践したキャリアパス構築支援の系譜を示す。1990年代後半、ポストドクター一人当り計画に基づき大学院の定員増が行われた。しかし、「学」のポスト減少の他に「産」の研究者需要低迷が重なり、博士課程修了生の就職難問題が表面化した。本問題に直面した日本数学会は、就職難問題の現状を把握するためにア

ンケート調査を実施した（1.2節参照）。主に博士後期課程修了生の産業界を含む多様な分野へのキャリア構築支援を目的とする「数学・数理科学のためのキャリアパスセミナー」（以下、キャリアパスセミナー）を2012年から数学会年会時に開催してきた。

ICT（情報通信技術）等の進展に伴い、2010年頃から数学・数理科学の高度な知識を必要とする産業分野が顕在化した。日本数学会は、このような産業界の潮流や文部科学省での取組を踏まえ上記の取組を加速させるために、産と学の有識者からなる「社会連携協議会」を2013年に発足させた。2013年からは、社会連携協議会が中心となり、キャリアパスセミナーやそれを発展させた「数学・数理科学専攻若手研究者のための異分野・異業種研究交流会」（以下、異分野・異業種研究交流会）を企画運営することとなった（1.3節参照）。

（2）博士課程修了生の就業状況

日本数学会は、2014年3月に博士後期課程修了生の就業状況のアンケートを実施した。その結果を図2に示す。

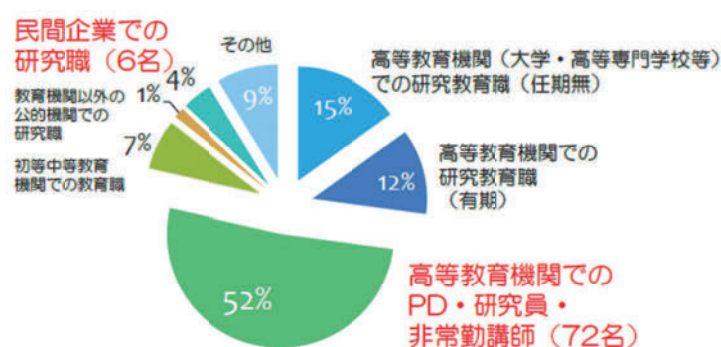


図2 2013年4月から2014年3月までに博士後期課程を修了した大学院生の就業状況 (回答数:140名)

図2より、不安定な身分の修了生が約半数に及ぶとともに民間企業の研究職への就職率は高々4%であることがわかる。このことから、博士課程修了生の産業界へのキャリア構築支援の強化・加速化が喫緊の課題であることがわかる。

（3）日本数学会が主催したキャリア支援のイベント

日本数学会が主催したイベントであるキャリアパスセミナーと異分野・異業種研究交流会では、試行錯誤によりプログラムを改善した結果、産業界からの理解を得られるようになり、イベントに協力いただく企業数が増加している。なお、異分野・異業種研究交流会2014より文部科学省「数学協働プログラム」からの経済的支援を受けている。

(4) 異分野・異業種研究交流会

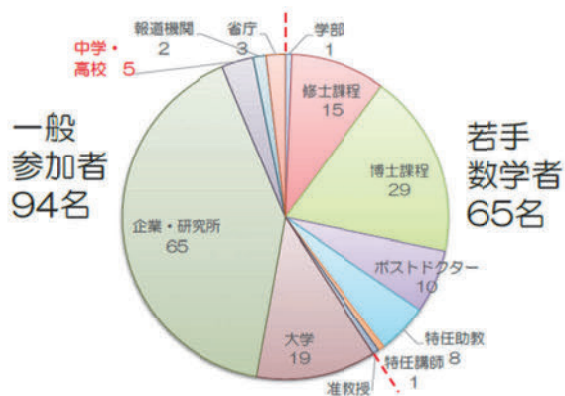


図4 異分野・異業種研究交流会2015の参加者159名の内訳
(交流会2014の参加者128名)

若手数学者の人材育成に多大な効果をもたらしている異分野・異業種研究交流会について紹介する。異分野・異業種研究交流会の目的は、若手数学者に対し次のような機会を与えることである。1) 産業界を含む異分野への応用展開の可能性のような数学の思ひぬ力の発見、2) 産業界へのキャリア構築に向けた動機付け。

これらの目的を達成するために、若手数学者によるポスター発表や、若手数学者が企業ブースを訪問し、若手数学者が産の研究者・人事担当者と意見交換を行う個別相談会を開催している。

図4に異分野・異業種研究交流会2015の参加人数の内訳を示す。この交流会の参加人数は159名であり、交流会2014と比べると約25%増加した。つまり、着実に参加人数が増加していることがわかる。

図4に異分野・異業種研究交流会2015の参加人数の内訳を示す。この交流会の参加人数は159名であり、交流会2014と比べると約25%増加した。つまり、着実に参加人数が増加していることがわかる。

交流会2015では、中学・高校教員に「数学履修生が産業界で活躍できる場」を知ってもらうために、中学・高校教育関係者への広報活動を新たに実施した。それが奏功し関係者5名の参加があった。

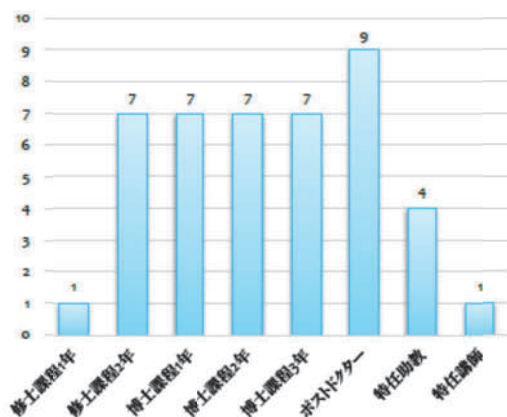


図5 ポスター発表者43名の学年・職位の分布
(交流会2014のポスター発表者39名)

参加した若手数学者のうち、43名がポスター発表を行った。図5にポスター発表者の学年・職位の分布を示す。図5より、修士課程から特任講師までの幅広い層の若手数学者が発表を行ったことがわかる。研究交流会2015より、若手数学者の参加意欲の向上、並びに諸科学・産業との協働意識のさらなる醸成をはかるため、諸科学・産業への応用可能性が高いもしくは今後高くなることが期待される研究内容をわかりやすく発表したポスター発表者を表彰

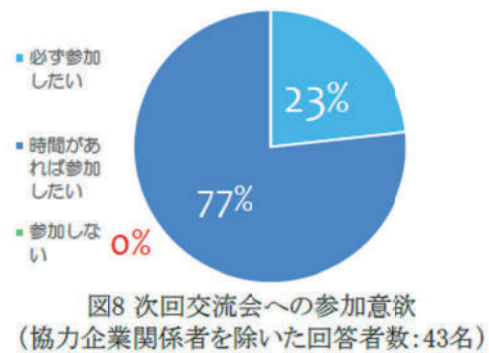
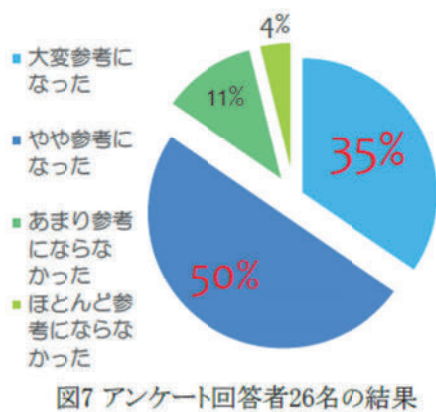
する制度を設けた。そのため、社会連携協議会委員および研究交流会に協力した企業／研究所代表者の29名からなる選考委員会を設置した。選考委員による投票、選考委員会による合議により、早稲田大学 D3、九州大学 D1、東京大学 M2の学生が「ベストポスター発表」を受賞した。

(5) 到達点と課題

前述のアンケート結果等から産学連携による人材育成を可能とするイベント（キャリアパスセミナー／異分野・異業種研究交流会）の企画運営スキームは確立されていると考えられる。

今後の課題として、

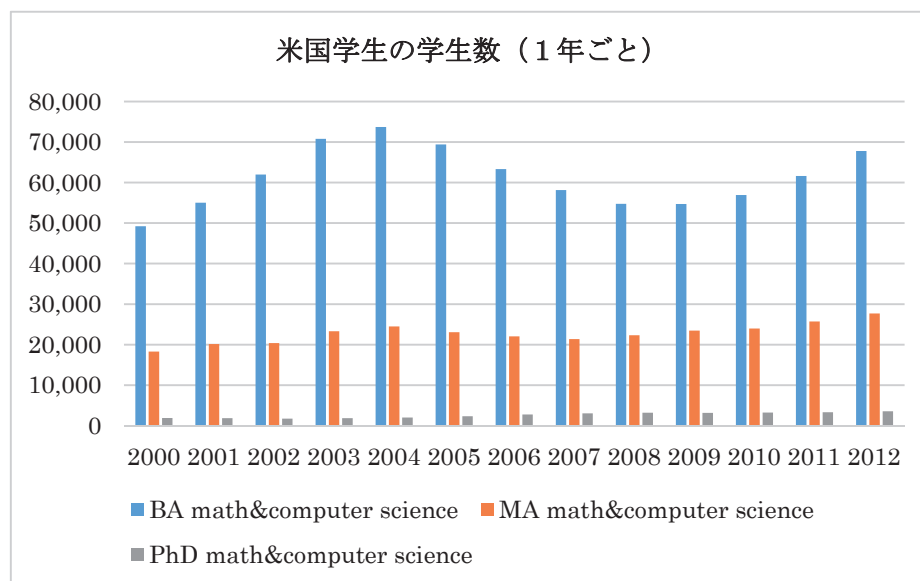
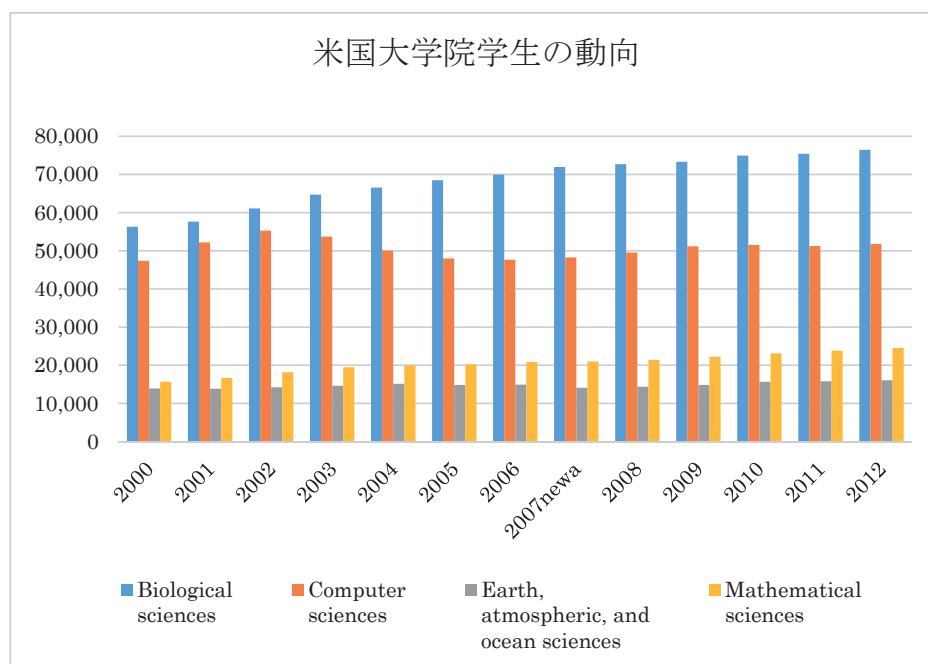
- (1) 異分野・異業種研究交流会については参加数が大幅に増加していることから顧客満足度を向上させるための多大な運営費が必要となっており、それを解決するための自立的事業運営を可能とするビジネスモデル構築
- (2) 事業の効果を可視化する仕組み作りと費用対効果の検証が挙げられる。



6.2. 米国における数学の人材の層とキャリアパス

(1) 米国での数学学生の動向

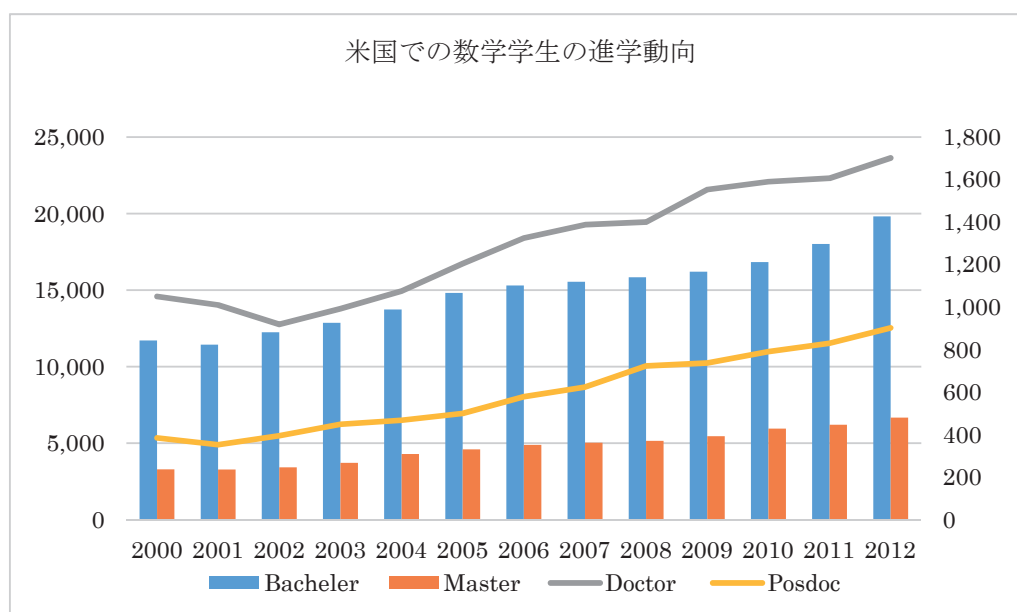
PhD について調べてみる。米国での大学院学生 (Master, PhD) 数は、全体として増加傾向にあるが、それほど大きな伸びがあるわけではない。その中では、数学が2000年の15,650人から2012年には24,575人に増えているのは、数学に対する需要へ応えていることと考えられる。



(2) 米国での数学(数理科学)の卒業および修了学生およびポスドクの動向

米国での数学(数理科学)の学部卒業生および大学院修了学生の2000年以降の動向調査データがNSFから公表されている。それによると、2000年では学部学生が11,000名程度から20,000名へ、修士課程修了者は4,000名程度から6,000名程度へ、博士は1,000名から1,700名へと増加している。ポスドクも500名から900名へと伸びている。

一方、日本では、学部学生卒業生が3,767名程度、大学院修士課程修了者が956名、大学院博士課程修了者が161名である(文部科学省学校調査報告書による)。日本と米国では1桁程度の違いがある。

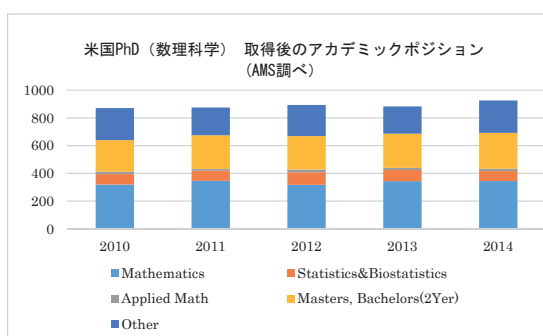
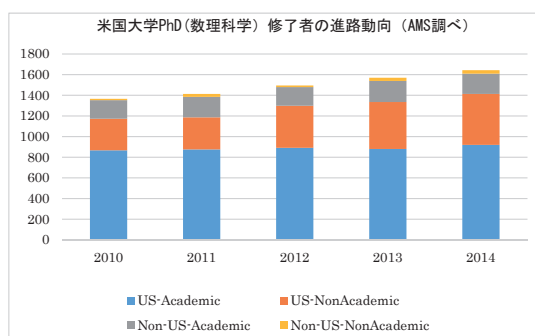


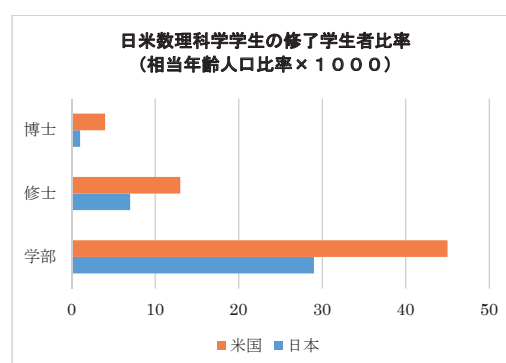
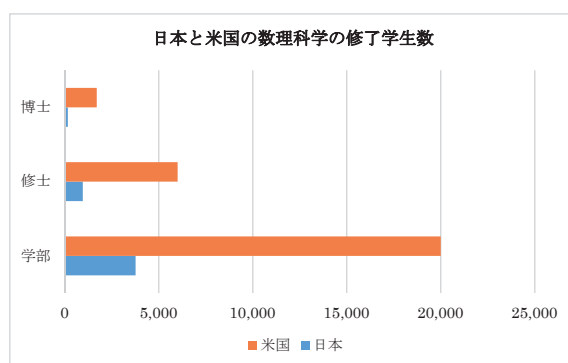
学部、修士、博士はともにその年度の在籍人数

左の数値が棒グラフ、右側の数値が線グラフ

(3) 米国でのキャリアパス

米国での PhD 取得後の進路についての調査 (<http://www.ams.org/profession/profession>) があり、それによると、米国での博士取得後の進路では、アカデミックポジション以外に就く割合は年々増加しており、2014年では23% 程度ある。これは、日本の数学・数理科学のキャリアパス状況が稀有であるのと比べると全く違っていることが分かる。アカデミックポジションには、数学以外の分野も含まれている。米国での PhD 取得後のアカデミックポジションの分野割合の動向は以下のようにになっている。PhD 取得後数理科学から応用数学へのポジションへ行くのは非常に少ない。

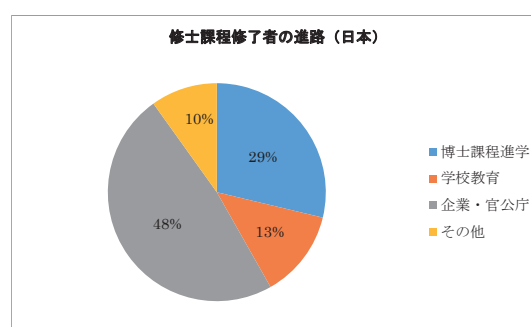
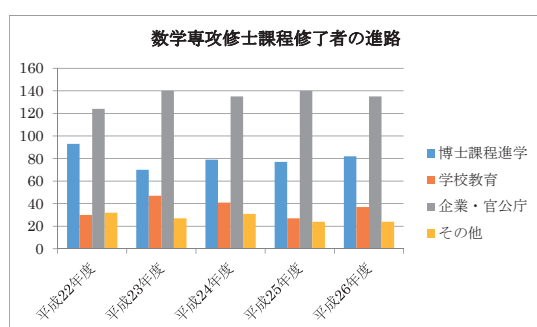




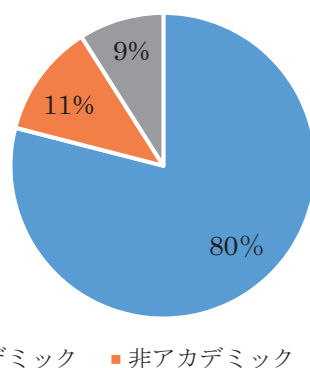
日米の数学・数理科学学生の修了者数をみると、大きな開きがある。相当年齢の人口比に直しても差がある。異分野融合や企業との共同研究を行う人材を輩出することにより、この差は埋められるだろう。

【参考1】

日本数学会のデータを使って調査した、7大学（北海道大学、東北大学、東京大学、名古屋大学、京都大学、大阪大学、九州大学）からの回答による調査では、2010年度から5年間の修士課程学生修了学生は1,395名であった。また、回答があった組織からだけになるが、やはり2013年4月から2014年3月の博士課程修了者140名のうち、高等研究機関でのポスドク、研究員、非常勤講師についている割合は52%（72名相当）があるが、研究教育職は27%（37名相当）というデータがある。



2013年4月から2014年3月までに博士後期課程を修了した者（140名）の進路（日本数学会調査から）



【参考2】学校基本調査（平成27年度高等教育機関）からの数学学生進路状況

（大学学部・数学卒業生：3,767人）：進学者 29%、就職者（正規の職員等） 52%、就職者（正規の職員でない者） 7%、その他 10%

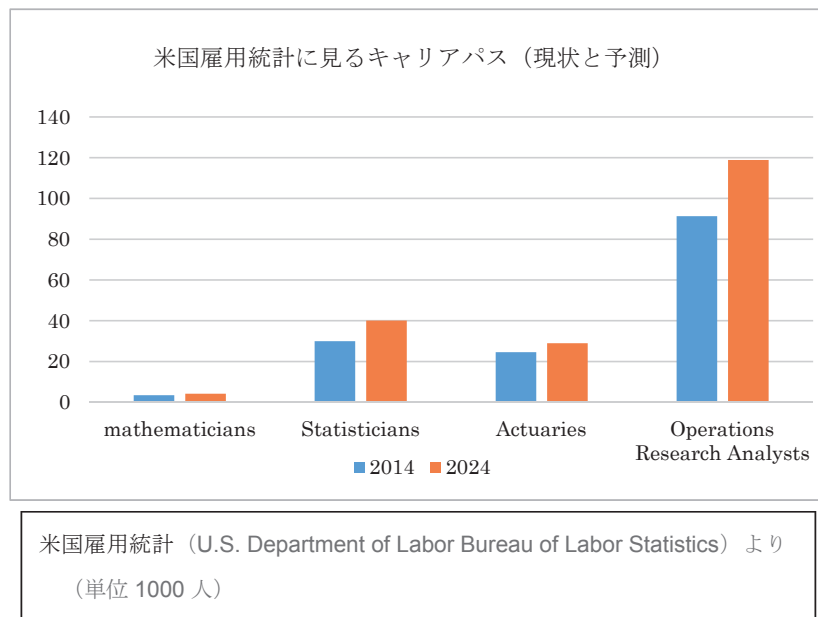
（大学院（修士課程）数学修了者：956人）：進学者 15%、就職者（正規の職員等） 68%、就職者（正規の職員でない者） 4%、その他 12%

（大学院（博士課程）数学修了者：161人）：就職者（正規の職員） 34%、就職者（正規の職員でない者） 27%、その他 39%

（ただし「数学」は次の小分類（学科）を含む：数学（類）、応用数学、数理学、応用数理学、計算機科学、情報（科）学、情報数理学、数理科（学）、数理情報学、数学・情報数理学、計算機科学、情報数理科学、数理情報学、情報システム、情報システム解析、情報メディア工学、現象数理学、システム数理学）

(4) 米国雇用統計からみる数学からのキャリアパス

米国雇用統計2014年の数学・数理科学、OR、統計、アクチュアリー統計およびそれらの2024年の予測が与えられている。これらの職種の雇用については全般的に活況を示しているといえる。その要因はデータアナリストの需要拡大の予測である。数学者の職業雇用については、数学研究者の微増もあるが、教育、工学系への教員、エンジニアサービス、マネジメントといった職業への増加の予測が立てられている。なお、米国雇用統計のなかでは、数学を専攻した学生が、これら四つの職種以外でも活躍しているということも記されている。（<http://www.bls.gov/ooh/math/mathematicians.htm#tab-2>）



また、毎年発表される Best Job ranking では以下のように数学・数理科学、統計等の職種が上位にランクされている。

2015年 1位 Actuary 2位 Audiologist 3位 Mathematician（Carrer Cast）
2014年 1位 Mathematician 2位 Tenured University Professor 3位 Statistician（Wall Stret Journal）

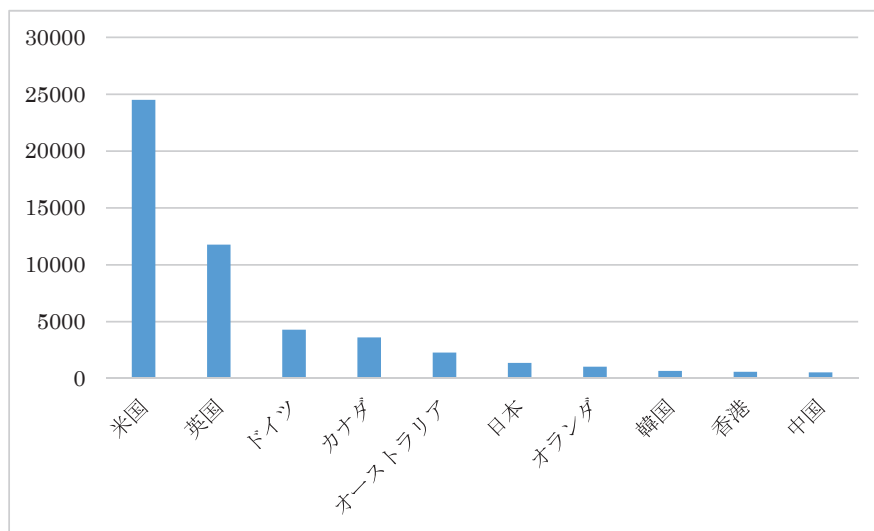
(4.2) 日本のアクチュアリー会員数

年度	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
正会員	1,219	1,240	1,262	1,300	1,335	1,373	1,435	1,514
準会員	831	936	969	994	934	1155	1278	1287
研究会員	1,976	2,061	2,180	2,261	2,247	2,273	2,166	2,192
合計	4,026	4,237	4,411	4,555	4,516	4,801	4,879	4,993

(4.3) 米国のアクチュアリー会員数

年度	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Fellows	12,366	12,766	13,344	13,774	14,468	15,071	15,729
Associates	8,098	8,578	8,501	8,904	9,069	9,342	9,849
Total	20,464	21,294	21,845	22,678	23,537	24,413	25,578

世界のアクチュアリー正会員数



【注】 米国が多い理由の一つは、米国には生命保険会社が約1,000社あるが、日本は43社である。

(4.4) アクチュアリーから企業トップへの人材例

アクチュアリーが保険業界での重要な役割を負っている。英国や米国ではアクチュアリーから企業トップとなる人材が多い。例えば、川井三郎氏(協栄生命社長・会長)、河野一郎氏(プルデンシャル生命保険社長)、根岸秋男氏(明治安田生命社長)、有末真哉氏(三井生命社長)、倉重光雄氏(Prudential-HD 社長)等多数輩出されている。アクチュアリーという職業は国際的にはよく知られているが、日本ではあまり知られていないのが現状である。前林義明日本アクチュアリー会事務局長からは、このような数学を使う専門職について、今後若年層へ周知していく必要があるとコメントを頂いた。

(6) カリフォルニア大学バークレー校の場合

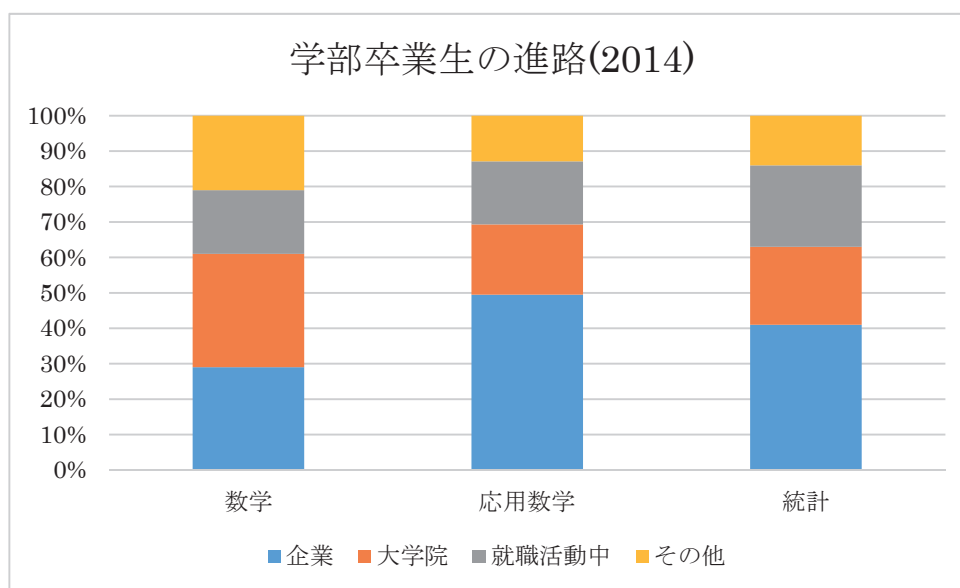
カリフォルニア大学バークレー校の2014年の学部卒業生、PhD 修了者の動向を見てみよう。

(6.1) 学部卒業生の進路

卒業生

数学卒業生 99 名のうち回答者	34 名 (回答率 34%)
応用数学卒業生 158 名のうち回答者	40 名 (回答率 25%)
統計卒業生 167 名のうち回答者	64 名 (回答率 38%)

のデータである。



(6.1.1) 数学の進路

- ・ 企業：教員、データアナリスト、ソフトウェアエンジニア、信託アナリスト、航空産業
- ・ 大学院進学：純粋数学(代数学、トポロジー)、計算数学、経済学、OR、物理

(6.1.2) 応用数学の進路

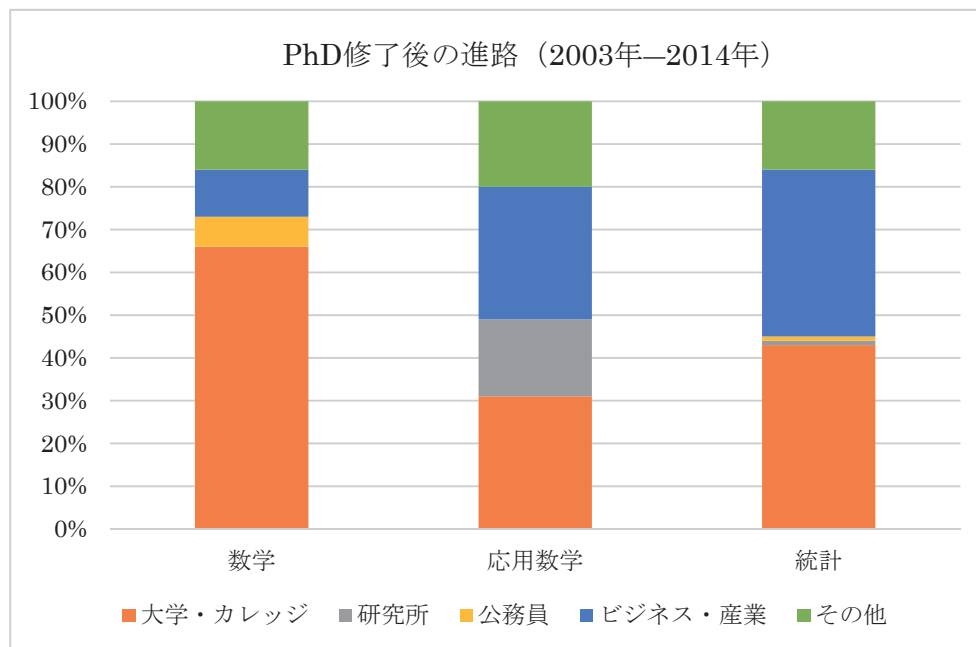
- ・ 企業：データサイエンティスト、証券アナリスト、ソフトウェアエンジニア、アクチュアリー、システムエンジニア、コンサルタント、サプライチェーンインターン
- ・ 大学院進学：応用経済、応用物理、計算数学、ファイナンス、情報工学

(6.1.3) 統計の進路

- ・ 企業：通信会社、研究アナリスト、税務事務所、会計アナリスト、アクチュアリー、データアナリスト、コンサルタント、企業研究員、ソフトウェアエンジニア、ファイナンシャルアナリスト

(6.1.4) PhD 学生の修了後の進路 (2003年から2014年までの累計)

回答を得た数学 220名、応用数学 16名、統計 83名についての分布



参考資料

【学部卒業者の進路について】

<https://career.berkeley.edu/Survey/2014Majors>

【PhD 修了者の進路について】

<http://grad.berkeley.edu/professional-development/doctoral-alumni-outcomes/placement-survey/>

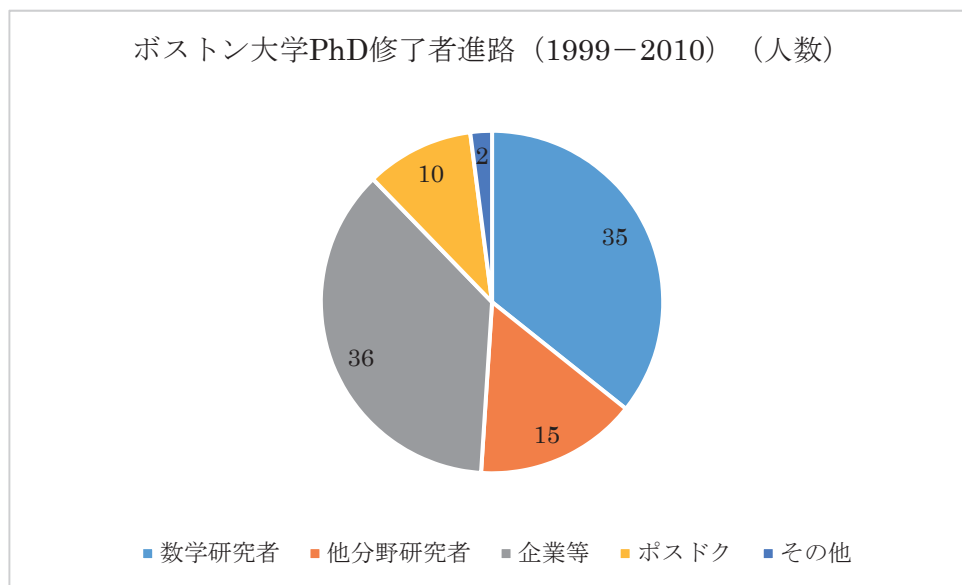
(7) ボストン大学 PhD 修了者の進路 (1999年から2010年まで)

(7.1) 企業等での職種

企業役員 (CEO、バイスプレジデント)、データサイエンティスト、ソフトウェア開発者、証券アナリスト、アクチュアルアナリスト、バイオ統計アナリスト、シニアエンジニア、シニアマネージャー、マーケットアナリスト、教員、サイエンスライターほか。

(7.2) 他分野研究者の進路分野

統計学、生物統計、定量的解析、生命情報、医学、ファイナンス、バイオメディカルほか。



米国の数学系の大学学部卒業者の50%程度が就職し、その残り50%程度が大学院へ進むのは、ほぼ日本での進学率とは同じ程度であると思える。ただ、米国では、統計学科や応用数学科等多く存在しており、卒業生の絶対数は全く違う。それでも、数学のニーズは高く、就職状況は非常によい。日本も数学系の学部あるいは修士での修了者については、問題がなく好条件での就職をしている状況は、数学会によるアンケート調査からも分かる。問題となるのは、博士課程の進路である。米国といえども、アカデミックポジションの獲得は難しい状況にある。特に、いわゆる純粋数学でのアカデミックポジションを得ることはかなり至難である一方、他分野や企業へ進路が開けているところが日本と米国の違いである。

7. 数学人材育成の課題

本章を終わるにあたり、数学・数理科学人材育成の観点からまとめを行う。

この調査から、高度社会において、数学の能力は、様々な程度があることは別として、ある程度のレベルの数学能力は必要であることは明らかになった。また、ある程度のレベルを保持する高校生では、大学以前の学生の数学好感度は良好で、文系の学生からみても数学の重要性は認識しているとも思える。これを大学入学後、あるいは社会への輩出の過程においても、数学能力を保持させていく必要が十分ある。ここには、大学での数学教育が強く関わると思われる。

我が国は、数学研究では世界的トップレベルの国であり、この高いレベルをさらに発

展させていくことが、数学を社会に役立たせるという意味でも重要である。この数学研究の基盤があってこそ、新しい数学理論や手法が生み出され、それが何十年後に様々な異分野融合研究や他分野へ役立たせることができるようになることは、歴史が示している通りである。新しい数学の創生のためには、先端的数学研究支援体制の保持、人材育成支援が行われなければならない。

一方で、21世紀における社会の高度化や複雑化に応えるため、社会における科学技術の重要性は今まで以上に求められている。特に、IT技術による社会革新とも言える時代が到来すると言われるなかでは、数学・数理科学がその理論基盤を支える重要な役割を担うことは必然である。そのために、「数学」から今までの「数学人材」とは別の人材育成を早急に検討していくべきではないだろうか。今回は、米国での数学人材育成、プリンストン大学工学部での教育、社会から求められている数学キャリアパス等を検討した。これらの調査からの提案は、新しいタイプの「数学人材」育成を早急に始めるべきということである。

この調査を通して得られたことから、今後検討する必要があると思われる課題について述べる。

(1) 若年層への数学の教育について

社会において、数学の重要性は誰もが認めるところである。また、これからの社会にとって数学はより重要な役割を果たすことは間違いない。そのために、大学入学以前の学生に対して、様々な方向から数学の重要性を伝えていく必要がある。数学の面白さを学び、感動を受けて大学へ進学する際に、数学の専門に進む人材も必要であるし、それを多方面に生かすことを選択する学生も必要である。また、文系に進む学生に対しても、教員の力がかなり影響していることは、高校生アンケートからみても分かる。そのことから、文系学生へ数学をどのように教育していくかということも重要な検討事項である。いずれにしても、数学を通じて、柔軟な人材の育成ができることが必要ではないか。

高校教員の方々に質問した際から得た回答を参考にしてみると、大学の数学は高校までの数学とは違う、という認識がある。従って、生徒に大学の数学専攻への進学を積極的には勧めない。また、数学の重要性については、「数学は論理的な考え方のトレーニング」といった抽象的な理由が挙げられている。高校教員には、大学の数学専攻に進んでもその後のキャリアが（大学教員や高校教員などに）限られるという意識があり、キャリアの具体例や社会において数学が応用されている具体例があまり知られていないと思われる。数学が論理的な考え方を育成するというのは、確かに重要なことではあるが、それとともに、数学を学ぶことの重要性や必要性を具体的に示すことや、数学を学んだあとの具体的な社会での貢献を示す必要があるのではないか。

若年層への数学の啓蒙や教育は、今後重要になってくる。そのためには、例えば、このような教育プログラムやそれを担当できる専門的知識をもった人材の育成も必要であ

と思う。

【提案1】高校生への積極的な数学教育

高校生をより柔軟に育成する必要がある。例えば、大学への授業へ参加できるような柔軟な教育体制、アメリカで行っている Ross Program や PROMYS のようなサマースクールの実施等の検討である。また、高校や中学の教員と大学教員とのコミュニケーションの機会を作っていくことも大事である。アンケートの中で、文系進学希望学生が数学を好きになる要素として「先生」が挙げられていることを踏まえると、教員の教育法にも今後の検討が必要ではないか。

【提案2】高校教員向けの数学応用事例の教育や数学応用事例の教育ができる高校教員の育成

数学・数理科学の専門を修得した博士課程修了者の登用の活用等により、若年層に対し、数学の魅力や数学の社会への貢献をより具体的に説明する授業を行う要員の検討である。また、高校生への数数学応用事例の紹介の場の運営も必要である。

(2) 大学学部での数学教育システムの検討

日本での「数学科、数理科学科」での学部数学専門教育は米国よりもより専門性が高いと思えるが、数学の外に目を向けさせる機会が少ない。高校の数学とのギャップを埋める工夫も少ない。また、特に統計教育は不十分であろう。米国の教育では、科目の濃密さ(1コマ50分程度であるが、それを週に4回やる)、数学の外に目を向けさせる機会、高校までの数学とのギャップを埋める工夫等がある。また、応用数学や統計などの教育にも広げる多様性が見える。さらには、優秀な学生には、自由なコース選択を与え、より早くアドバンスな専門履修も可能にしていることや、数学の授業以外にも様々な科目をとれるようなシステムも導入されている。日本の教育特色を十分考慮したうえで、若い数学人材の育成に向かった数学教育システムの検討が望まれる。

【提案3】学部での数学教育プログラムの検討

我が国の現状からみて数学教育の中に不十分でありながら、それに応えられていない教育プログラム(たとえば、データ科学、統計、離散数学、最適化、数値解析等)について、早急な対応が望まれる。短期的視野でいえば、例えば地区ごとの大学が連携しあい、お互いの分担で補完しあう大学間連携を進めること、大学での数学の導入教育の検討、英語テキストによる授業の検討もある。

【提案4】学部教育の評価

アメリカの大学で行っているベストティーチングアワードのような形で、学部教育の優秀者を表彰することにより、教育にも重視する姿勢を作る。

(3) 博士課程修了者のキャリアパス

大学での数学出身者のキャリアパスは重要な問題である。学部や修士課程の修了者の

キャリアパスに比べ、後期博士課程（博士課程）修了者のキャリアパスは深刻な問題である。優秀な人材が埋もれていく現状について、数学界が重要視してこの問題にあたる必要がある。数学人材の社会への貢献のために、優秀な人材のキャリアパスを拡大していくことが最重要課題である。博士課程修了者の進路は、日本はほとんどがアカデミアであり、企業はきわめて少ない。一方、米国ではアカデミックポジション以外の進路が年々増加し、2014年には23%ある。また、日本と米国の数学コミュニティを比較してみると、数学・数理科学専攻の学生数や関連学会の会員数自体が、米国が、AMS 会員 30,000 人、SIAM 会員 13,000 人、ASA 会員 13,000 人に対して、日本数学会会員 5,000 人、日本応用数理学会会員 1,600 人、日本統計学会会員 1,450 人と、米国は日本より一桁近く多いことから見ても、数学の規模が日米では歴然と違う。数学を取り巻く環境の規模はそれほど大きくない我が国では、より結束してこの解決を図る必要がある。今後の取り組みとして、① 企業と学生との交流会のような場の運営、②（企業への長期）インターンシップ、③ 学生への情報提供による数学専攻出身者の企業での活躍事例の紹介や、企業への情報提供等、学生へキャリアパスの情報提供を行うことである。

【提案5】現在の日本数学会が行っている「社会連携協議会」を発展継続させるために、産学官の下による数学・数理科学の学生のキャリア支援

日本数学会では博士課程学生のキャリアパス支援として、官学民の協力による「社会連携協議会」を発足させている。この活動を通して、企業からの数学修了学生への興味も向上してきていることは確かである。しかしながら、この活動は、ボランティア的要因が強く、運営を行う負担が多すぎる。これを継続的に運営するためには、財政的、人的サポートが必要である。それがないと、せっかくの活動も行き詰ることになる。この活動が、継続的に行えるような支援体制を検討すべきである。